華 岡 工 程 學 報 第二十八期

目 錄

一、數位及機電科技

1. 邀請回顧論文-傳統偶戲之數位典藏
蔡敦仁、陳威宇 ……1
2. 頭控控制器之人機介面研究
駱詩軒 ……7
3. 使用 Elliptical Gabor Filter 做眼睛定位
林于正、李志仁、孫振東、陳俊榮、楊泰寧、張耀鴻 ……14
4. 機房共構服務之管理模型研究：以政府機關為例
李國豪、孫振東、李志仁 ……20
5. 運用雲端運算技術於 iPhone 裝置之多人互動遊戲開發與實作
施啟煌、林佩蓉、蔡孟庭 ……28
6. 以類神經網路在小型巡防艇建模之應用
張文義、俞克維 ……36
7. Femtocell 發展的介紹以及 Covariance 調整式適應性天線應用於該系統的數學分析
劉宗慶 ……43
8. 應用實際考量技巧於基於 STWR 演算法的 MOSFET 電路模擬
陳俊榮、蔡昌隆、孫振東、李志仁、張耀鴻、周立平、楊泰寧 ……49
9. 應用最小區間法評估微探針模組之共面度誤差
張達元、吳東晨、曹博凱 ……57
10. 太陽黑子 Cycle24 對衛星軌道變化之研析
傅鶴齡、王盈淳、胡鳴凱、楊皓天 ……65
11. 植基於腦波機之無線遠距醫療系統
劉仲鑫、曾文彥 ……70

中華民國臺北市士林區陽明山華岡路 55 號
中 國 文 化 大 學 工 學 院 印 行
中 華 民 國 100 年 6 月 出 版

目 錄

二、材料及奈米科技

12. NiAlFe(Cr,Nb) 介金屬合金之腐蝕行為研究
王鴻彬、邱亮維、曹春暉 ……80
13. 多孔矽之綠色發光特性研究
林嘉洺、賴衍中 ……86
14. 無電極鍍鎳聚酯織物以膨潤方式處理對電磁波吸收效果之分析
李貴琪、張紘瑞、游輝仁、黃宏旭 ……91
15. 奈米微粒對聚丙烯織物染色性能及抗 UV 性影響之研究
王權泉、蔡志宸、陳建龍、楊南盈 ……97
16. 比較兩種不同聚乙烯塑膠粒經微細發泡後之差異
李貴琪、佘岱螢、游輝仁、邱永和 ……105
17. 導電錐形螺旋銅線複合板材對電磁波吸收之影響
李貴琪、黃建豪、游輝仁、黃宏旭 ……111
18. 胺基修飾燻矽固體吸收劑與二氧化碳之反應性研究
劉建麟、莊芝懿、林仁斌 ……117
19. 摻雜錫之氧化銦奈米線的合成與性質探討
林良達、張立偉、施漢章 ……125
20. 聚丙烯針織物以電漿及丙烯醯胺改質藉由改變單體/交鏈劑比例對反應性染料低溫染色及物性之研究
王權泉、蔡志宸、張俊彥、周威志、吳馨蘋 ……130
21. 纖維素生產生質酒精之基礎研究
劉耀中、李璜桂 ……139
22. 聚乙烯醇與天然澱粉合膠之製備及性質研究
黃柏琅、劉孟泊、李璜桂 ……145
23. 以添加電磁波吸收粉體之不飽和聚酯樹脂含浸之蜂巢結構對電磁波吸收效益之影響
李貴琪、鄭傑、游輝仁 ……153
24. 以類神經網路模式估計高分子之玻璃轉化溫度
楊瑞彬、陳文智、賴森茂 …… 159

中華民國臺北市士林區陽明山華岡路 55 號
中 國 文 化 大 學 工 學 院 印 行
中 華 民 國 100 年 6 月 出 版

CHINESE CULTURE UNIVERSITY
Hwa Kang Journal of Engineering
Volume 28 **Jun 2011**

CONTENTS

I. Digital and Mechatronic Technologies

1. Invited Review Paper-The Digital Archives of Traditional Puppet Plays
D. R. Tsai, W. Y. Chen ····· 1
2. The Study of a Head-Controlled Human-Machine Interface
S. S. Luo ····· 7
3. Eye Location Using Elliptical Gabor Filters
Y. C. Lin, C. J. Lee, J. D. Sun, C. J. Chen, T. N. Yang, Allen Y. Chang ····· 14
4. A Study of ISDC Service Management Model: The Case of Government Organization
G. H. Li, J. D. Sun, C. J. Lee ····· 20
5. Design and Implementation of a Cloud Computing-based Multi-player Game on iPhone Devices
C. H. Shih, P. J. Lin, M. T. Tasi ····· 28
6. The Application of Small Coast Guard Vessel Modeling by Using Neural Network
W. Y. Chang, K. W. Yu ····· 36
7. Femtocell Deployment Analysis and Methodology of Using Covariance Adjustment Adaptive Array
T. C. Liu ····· 43
8. Exploiting Practical-considering Techniques in MOSFET Circuit Simulations based on Selective-tracing Waveform Relaxation Algorithm
C. J. Chen, C. L. Tsai, J. D. Sun, C. J. Lee, Allen Y. Chang, L. P. Chou, T. N. Yang ····· 49
9. Coplanarity Evaluation for Micro-probe Module Using Minimum Zone Criteria
D.Y Chang, T.C. Wu, B.K. Tsao ····· 57
10. Satellite Orbital Change analysis with Parametric Variation Study from Solar Cycle 24
H. L. Fu, Y. C. Wang, M. K. Hu, H. T. Yang ····· 65
11. Use EEG Machine for the Study of Auxiliary Telemedicine System
C. H. Liu, W. Y. Tseng ····· 70

PUBLISHED BY
COLLEGE OF ENGINEERING, CHINESE CULTURE UNIVERSITY
HWA KANG, YANG MING SHAN,
TAIPEI, TAIWAN, REPUBLIC OF CHINA

CHINESE CULTURE UNIVERSITY
Hwa Kang Journal of Engineering
Volume 28 **Jun 2011**

CONTENTS

II. Materials Science and Nanotechnologies

12. The Corrosion Behavior of the NiAlFe(Cr,Nb) Intermetallic Alloys
H. B. Wang, L. W. Chiou, C. H. Tsau ····· 80
13. Study on Green Light Emission from Porous Silicon
J. C. Lin, Y. C. Lai ····· 86
14. The Analysis of Absorbing Electromagnetic Waves used by Swelling Method and Electroless Nickel Plated Way on Polyester Fiber
K. C. Lee, H. J. Chang, H. J. Yu, H.H. Huang ····· 91
15. Effect of Different Nanoparticles on Disperse Dyeing and UV-cut of Polypropylene Fabrics
C.C.Wang, C.C.Tsai, J.L.Chen, N.Y.Yang ····· 97
16. The Study of Compare Two Different Polyethylene Plastic Pellets by Microcellular
K. C. Lee, T. Y. She, H. J. Yu, Y. H. Chiu ····· 105
17. Conductive conical spiral copper composite Board on the effect of electromagnetic wave absorption
K. C. Lee, C. H. Huang, H. J. Yu, H.H. Huang ····· 111
18. Study on Reactivities of Amino-Modified Silica Fume Solid Sorbents for CO_2 Capture
J. L. Liu, C. Y. Chuang, R. B. Lin ····· 117
19. Synthesis and properties of the tin-doped indium oxide nanowires
L. D. Lin , L. W. Chang , H. C. Shih ····· 125
20. Study on Low Temperature Reactive Dyeing and Characterization of Polypropylene Fabrics Treated by Plasma and Grafted with Acrylamide
C. C. Wang, C. C. Tsai, C. Y. Chang, W. Z. Chou, S. P. Wu ····· 130
21. Basis research on Production biomass ethanol by cellulose
Y. C. Liu, H. K. Lee ····· 139
22. Research on the Preparation and Properties of Polyvinyl Alcohol/Natural Starch Blends
P. L. Huang, M. B. Liou, H. K. Lee ····· 145
23. Conductive conical spiral copper composite Board on the effect of electromagnetic wave absorption
K. C. Lee, J. Cheng, H. J. Yu ····· 153
24. A Neural Network Approach to Estimation of Glass Transition Temperature of Polymers
R. B. Yang, W. C. Chen, S. M. Lai ····· 159

PUBLISHED BY
COLLEGE OF ENGINEERING, CHINESE CULTURE UNIVERSITY
HWA KANG, YANG MING SHAN,
TAIPEI, TAIWAN, REPUBLIC OF CHINA

華岡工程學報第 28 期 民國一百年六月 中國文化大學工學院
Hwa Kang Journal of Engineering, Chinese Culture University 28 (2011) 1-6

傳統偶戲之數位典藏

蔡敦仁[1*]、陳威宇[2]
[1]中國文化大學資訊科學(工程)系
[2]中國文化大學化學工程與材料工程學系
*Email: drtt@mail.pccu.edu.tw

摘要

在早期農業社會裡扮演著寓教於樂與淨化民心之功能的傳統偶戲，隨著社會轉型至工業化及電視節目出現，近年來日漸衰微，許多劇團為了生計不再演出，許多珍貴劇本、操偶技藝及演出實況隨著演師凋零而逐漸消失。本文探討如何經由數位典藏計畫，將傳統偶戲由「數位典藏」出發，以「文化創意產業發展」為目標，整合「內容規劃」、「技術應用」、「商品設計」、「藝術授權」、「品牌經營」等五大面向，嘗試建立完善之典藏加值應用的產業鏈機制，建立創新品牌，並賦予傳統偶戲創新的生命與市場價值。

關鍵詞：數位典藏、數位典藏國家型科技計畫、數位內容、傳統偶戲、詮釋資料。

The Digital Archives of Traditional Puppet Plays

Dwen-Ren Tsai[1*], Wei-Yu Chen[2]
[1]Department of Computer Science, Chinese Culture University
[2]Department of Chemical and Material Engineering, Chinese Culture University

Abstract

In the early agriculture society of Taiwan, traditional puppet plays play roles of social education and mental purification through entertainment they provided. However, while the society shifted to industrial, TV programs were booming and many puppet troupes were forced to stop playing shows for livelihood, traditional puppet plays are on the wane day after day. Many precious scripts, skills and the performance records gradually vanished while puppet show players passed away. In recent years, they are dying away in Taiwan. This paper shows the way starts from executing digital archiving projects, aiming on the development of culture creative industry, to give traditional puppet play industry a new life. There are 5 phases included: content management, technology application, product design, arts authorization and branding. The purpose of the project is to bring the living water to the declined traditional arts, and to give new life and value for the old traditional puppet play industry.

Key words: digital archives, National Digital Archives Program, digital content, traditional puppet plays, metadata.

一、前言

所有人造事物皆有保存期限，如何將珍貴文物延長保存期限或甚至永久保存，一直是個待解問題。對此問題最有興趣者，首推圖書館員、博物館員及檔案管理員。數位典藏似乎提供了部份的解決方案，至少是對資訊類之文物(例如：圖書)提供了看似完美之解決方案。截至 2005 年，美國

研究圖書管館中收藏了大約 3 億冊書籍，其中有 8 千萬冊是經過酸處理，不利保存 [1]。去酸化費用於 2003 年估計爲每本書 15 至 20 美金 [2]，目前應該更貴。而以數位典藏方式保存，更有便於流通之優點。

偶戲源自閩南，於台灣發展已有三百餘年歷史，隨著社會文化的脈動，已發展出台灣特有之表演藝術形式。傳統偶戲長久以來深入民間，融入社會風俗，反映社會各面向，成爲重要之歷史資產。然而隨著時間演進，傳統偶戲已日漸凋零，許多偶戲相關資料漸漸消失，將其做數位典藏有迫切性。本校研究團隊近年來主要接受國科會補助及部分接受文建會補助，執行一系列傳統偶戲之數位典藏計畫，除完成數量龐大之傳統偶戲資料之數位典藏外，並透過計畫執行及網站建立，推廣傳統偶戲及爲偶戲產業尋求新的機會。

二、數位內容產業發展

數位內容產業近年來於國際上非常受重視，根據 PricewaterhouseCoopers 之研究顯示，全球娛樂與媒體市場 2010 年市場規模達約 1.36 兆美元、2014 年估計可達約 1.7 兆美元 [3]。Amazon 於 2007 年推出電子書閱讀器 Kindle 造成風潮後，Apple 於 2010 年推出之平板電腦 iPad 更引發一波載具、內容及應用之革命，產生新商業模式。同時因網路頻寬及無線網路高度成長，線上遊戲市場發展亦方興未艾。尤其社群網路應用服務如：Twiter、Facebook 之出現，促成虛擬社群之形成，快速溝通之需求因運而生，未來對數位內容之需求將持續日增。

2010 年我國數位內容產業整體產值估計爲新台幣 5,225 億元，較 2009 年成長約 14%，主要產業（遊戲、動畫、影音、學習及數位出版等）達新台幣 1,675 億元，平均年成長達 34%。總統府財經諮詢小組會議於 2009 年 10 月 15 日選定數位內容產業爲未來 10 大重點服務業發展項目之一。行政院於 2010 年 7 月核定通過「數位內容產業發展行動計畫」，透過軟硬整合、一源多用、國際拓銷及學研整合等 4 大發展策略，推動我國數位內容產業在 2013 年達到產值新台幣 7,800 億元之目標 [3]。資策會數位內容學院認爲「數位內容係指將圖片、文字、影像、語音等多媒體運用資訊科技加以數位化並整合運用之產品或服務」[4]。並認爲因其內涵爲知識型高附加價值產業，將其依領域別分爲數位影音應用、電腦動畫、數位遊戲、行動應用服務、數位學習、數位出版典藏、內容軟體、網路服務以及數位藝術等[4]。

因應數位內容之無限潛力，政府早在 2002 年即開始執行「數位典藏國家型科技計畫」，目前已執行 10 年。立法院更於 2011 年 1 月 7 日三讀通過行政院文建會所提「文化創意產業發展法」(簡稱文創法)，希望能落實協助建構良好文化創意產業發展環境、培養藝文消費人口、擴大文創市場，讓文創業者獲得實質助益 [5]。

三、數位典藏計畫

依據維基百科定義：「數位典藏指的是以數位方式（處理拍攝、全文輸入、掃描等），並加上詮釋資料的描述，以數位檔案的形式儲存」[6]。有鑑於數位儲存技術之進步及網路之普及，國內外各相關組織及政府陸續有計畫的希望能將各項珍貴之人類公共資料做數位典藏，主要之計畫敘述如下：

（一）國外數位典藏計畫

國外大規模之數位典藏計畫主要有兩個：開放內容聯盟(Open Content Alliance) 及谷歌圖書(Google Books)。開放內容聯盟(Open Content Alliance)係由網際網路典藏(The Internet Archive)計畫所演變成，網際網路典藏是一個非營利的計畫，由科技企業家 Brewster Khale 於 1996 年成立。Khale 提供資金並親自參與世界上每件事物，包括圖書、音訊、視訊、電視節目之數位化。「網際網路典藏」收集各地數千小時之電視。抱持著某天某地某人，可能會對其數位化之內容感興趣。「網際網路典藏」之引擎爬行網際網路，儲存每天都在改變之網站資料。派代表前往世界各處，洽談設立龐大的數位掃描器，以製作孤本或密本書籍之高解析度數位副本，甚至在需要時協助修復原貌，然後小心做光學字元辨識(OCR)，使其內容可被搜尋及可於不同載具間移植。「網際網路典藏」擬想出數位萬有圖書館(digital universal

library)之涅盤佳境(nirvana)。而 Google Books 爲 Google 公司所發起之掃描各大圖書館書計劃，於 2004 年 12 月首由牛津大學圖書館開始，免費向公眾提供其數位化之圖書。於谷歌圖書宣布 10 個月後，2005 年 10 月「網際網路典藏」和 Yahoo 聚集在一起，並獲微軟、加州大學、多倫多大學、英國國家典藏及許多機構支持，宣布成立開放內容聯盟 (Open Content Alliance)，具明確目標，提供一個開放之對抗「谷歌圖書」的計畫 [7]。然 2008 年微軟退出此聯盟也退出書籍數位化競賽。

（二）我國數位典藏計畫

國科會自 2002 年即開始執行「數位典藏國家型科技計畫」，將國家、社會、民俗之文物、古蹟、歷史建築、文化創作藝術等加以有系統的收集、整合及典藏，成果豐碩。自 2008 年起之第 3 期計畫與「數位學習國家型科技計畫」整合成「數位典藏與數位學習國家型科技計畫」，預計執行至 2012 年。

三、數位典藏內容之要求

數位內容依媒體之來源格式可分爲文字、影像、圖片、音訊、影音等類別。而依照典藏及瀏覽之不同需求，可採用不同之儲存格式。通常希望以高解析度典藏，但又受限於儲存空間可能受限，經常只能接受折衷之解析度。而典藏又受限於頻寬及伺服器之計算能力。1 分鐘之影音檔若以 H.261 codec 格式儲存約爲 0.84 MB、若以 MPEG-1 格式儲存約佔 11 MB，而以 MPEG-2 格式儲存則佔 40 MB，當然 MPEG-2 具有最高解析度。一般同一件數位典藏品於典藏時以盡可能之高解析度典藏，並提供較低解析度及片段之內容供大眾瀏覽，然隨著網際網路頻寬之增加與伺服器計算能力之增強，許多網站亦提供高解析度數位典藏品供大眾瀏覽。

於考量提供數位典藏品供瀏覽時，需考量下列瀏覽交換格式(Browsing Interchange Format, BIF)要 [8]：

- 影音(vedio)(訊框數、色彩、時序、解析度)
- 2 個音訊通道(two-channel audio)
- 相關聯之內容相關詮釋資料(metadata)
- 材料相關詮釋資料

BIF 應支援串流(streaming)及檔案傳送二種模式，亦即使用者可於線上瀏覽或下載影音檔。

四、偶戲數位典藏之緣起

布袋戲或稱偶戲是許多人的兒時之共同回憶，台灣偶戲源自閩南，而隨著社會文化的脈動，發展出台灣特有之表演藝術形式，發展至今已有三百餘年歷史。傳統偶戲長久以來深入民間，融入社會風俗，反映台灣社會各面向，成爲台灣重要之歷史資產。然而隨著時代變遷，許多偶戲相關資料漸漸失傳，爲了替台灣傳統偶戲注入新的生命，希望於網路上呈現台灣傳統偶戲之豐富面貌，尋找市場，本校計畫團隊由2004年起隨著民間研究學者江武昌老師，從事田野調查，盡量記錄台灣偶戲之珍貴資料。所到之處皆可感到台灣傳統布袋戲資料之豐富與優美，然隨著老藝師及劇團之日漸凋零，急需立即將傳統偶戲相關資料做數位化保存，可謂今日不做，明日會後悔，故決定從事偶戲珍貴資料之數位典藏工作。江武昌老師近30年間足跡踏遍全台灣，對於布袋戲中各門各派、戲偶雕刻家、繪布景舞台、頭盔、服飾的之藝人和劇團瞭若指掌，所收集的有聲資料、圖片、文物和拍攝的照片極爲豐富而珍貴，數量十分龐大，非常值得將其數位化，供未來之學術研究與社會大眾閱覽。

我們將台灣偶戲產業歸納出以下 5 種類別：

(1)文化創意商品產業—如各式戲偶拍賣(包含傳統戲偶、金光布袋戲偶、創新設計戲偶、古董收藏戲偶)、精緻典藏商品銷售、偶戲主題企業客製化商品、典藏圖像生活商品開發及銷售、趣味生活文/玩具開發及銷售、偶戲教學輔助教材開發、銷售等，並建立實體店面及虛擬通路。

(2) 文化創意授權產業—蒐羅各地藝師團隊之傳統偶戲肖像、後台音樂、腳本及周邊相關藝術元素，簽訂代理授權契約，提供學術研究、教育推廣、商業應用、商品設計之用途並進行下游廠商之授權製作，同時參加海外授權展，將代表台灣

傳統藝術─布袋戲圖像授權予全球各地被授權商，引領優質典藏作品前進國際授權交易市場，創造台灣數位典藏商機營收，發揮文化創意產業高度經濟價值。

(3) 文化創意數位產業—如多媒體資料庫授權使用(自清末至民國 70 年代間珍貴、豐富的偶戲相關照片與古冊劇本等史料、影音檔)，經由網頁平台以趣味方式呈現，如線上戲台、博物館、線上學習、線上遊戲、數位電子音樂、電子書等，供社會大眾進修及學術研究之用，使台灣之傳統偶戲文能深入台灣人民之心中。

(4) 文化創意媒合產業—從事藝術經紀業務，安排藝師、劇團於節慶活動、喜慶宴會、工商活動中演出；不但使活動熱鬧非凡，與會之佳賓，更能享受台灣文化之美。

(5) 文化創意教育產業—傳統戲偶演出種子師資培育、傳統戲偶工藝種子師資培育、創意應用教學、海外文化交流及推廣活動等。

五、偶戲數位典藏計畫架構

計畫之宗旨為由『數位典藏加值應用』出發，以『文化創意產業發展』為目標，涵蓋『內容規劃』、『技術應用』、『商品設計』、『藝術授權』、『品牌經營』等五大面向，嘗試建立完善的典藏加值應用之產業鏈機制。運用資訊科技進行偶戲數位典藏，以此為中心將各類偶戲產業做e化整合，使台灣偶戲之B2B、B2C和C2C的產業鏈更加完整，如圖1。

計畫之第一階段以國立傳統藝術中心所提供之偶戲數位典藏資料為基礎，開始進行【創意加值網站之內容建置】，成功的推出『線上博物館』、『線上戲臺』、『線上遊樂場』、『線上教師館』；第二階段接續進行【偶戲王商品開發及品牌行銷】計畫，開發出創意偶戲商品『布袋圍巾』、『主題式撲克牌撲克牌』、『黃俊雄系列鑰匙圈』、『黃俊雄系列立體明信片』、『懷舊火柴盒』、『造型鉛筆』、『個性T -shirt』、『創意隔熱手套』等商品，並積極開發實體及虛擬之銷售通路；第三階段則廣泛的與全台灣之傳統偶戲藝師團隊以及下游各類型的廠商簽訂授權合約，進行【產業鏈上中下游整合】，並建立『偶戲王商城』及eBay、PChome 網路商店，此外亦參與國科會在紐約之授權展、加拿大教育展等國際性推廣活動；第四階段擴大永續典藏台灣傳統偶戲資料，每年完成進階數位處理約400筆老照片及約100筆錄音帶(錄影帶)資料並建立其銓釋資料，並建置能線上播放與查詢之傳統布袋戲網站，供社會大眾瞭解台灣傳統布袋戲之美。亦精選一些偶戲錄音檔，撰寫文字逐字稿，有助於鄉土語言教學。並建置英文與日文版網站，由英文與日文老師以口語化方式進行翻譯，以使外籍人士能迅速瞭解台灣傳統偶戲，將台灣傳統文化之美行銷世界；第五階段選擇國寶級藝師，將其珍貴演出資料進行典藏，並建置專題網站；第六階段預計將已數位化之戲偶角色進行操作記錄，應用3D動態設備擷取演師戲偶之操作技巧，記錄於資料庫中。並規劃將過去典藏之傳統偶戲珍貴數位化資料製作成電子書，使傳統偶戲之美能歷久不滅。

圖1. 偶戲數位典藏計畫架構

目前本校正執行第五階段之計畫，起源於計畫團隊在田野調查訪談過程中，發現北台灣有許多國寶級的藝師珍貴演出資料未被詳細收錄。包括新興閣掌中劇團─鍾任壁老師（首屆台北傳統藝術藝師得主）提供 40 年前由吳天來編劇，鍾任壁

導演與主演的連本戲，在當時台北大橋戲院首演即告爆滿的「大俠百草翁」10 集，共計 30 小時的劇場筆記(如圖 6)，記錄手法為鍾任壁先生自創，圖案與各式符號雜陳，劇情推演非常精采有趣。新宛然掌中劇團─陳錫煌老師「解一世冤仇」與「鮑自安打擂台」兩部戲齣，文武場面與嘻笑怒罵皆有非常適合布袋戲表演特質，老戲迷皆認為陳老師的的戲齣猶如陳酒，後勁十足越陳越香其戲偶動作細膩擬真，常令觀眾忘情欣賞。新西園掌中劇團─許正宗老師親自錄音「鷹爪王」之戲齣，此戲由許欽先生編導。此次數位化的物件，在詮釋資料之撰寫上非常不易，需經由藝師們口述整理才能詳細的記錄，再加上藝師們年歲已高，這些演出資料的收錄實為重要，因此特別與老藝師們以口述訪談方式進行撰寫。將劇本與錄音資料中的演出精神得以保存下來，成為全民之重要文化資料，供相關學術研究與大眾瀏覽。

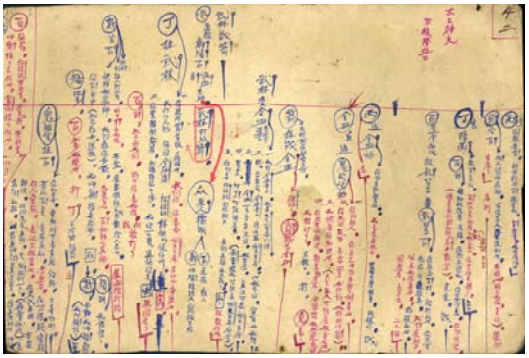


圖6 鍾任壁劇場筆記

六、偶戲數位典藏流程

傳統偶戲珍貴數位化物件(包含：照片、錄音及多媒體影音資料)典藏流程如圖 2。

計劃採用之詮釋資料格式遵循國家文化資料庫詮釋資料格式 [9]。資料及詮釋資料內容建置完成後，藉由驗證程式驗證以確保詮釋資料建置品質。並將主題計畫所提出之需求欄位經系統化、架構化與詮釋資料標準化之後，列成表單供系統開發人員建置資料庫時設定欄位使用，同時亦供程式設計人員於撰寫程式時參考使用。

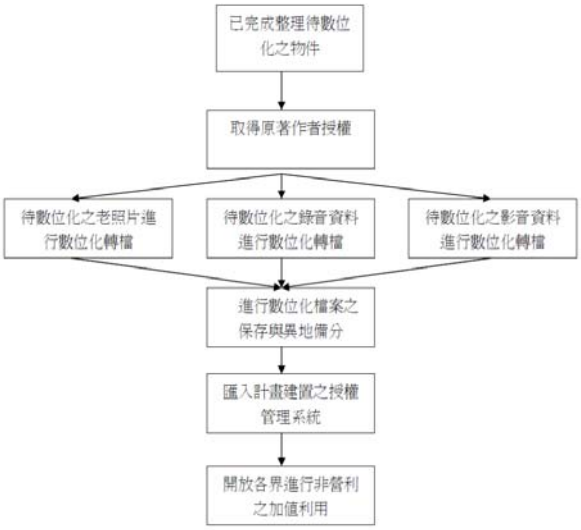


圖 2. 偶戲資料典藏流程

傳統偶戲錄音資料數位化流程如圖 3。若發現聲音檔有雜訊，需將聲音檔去雜訊修復。

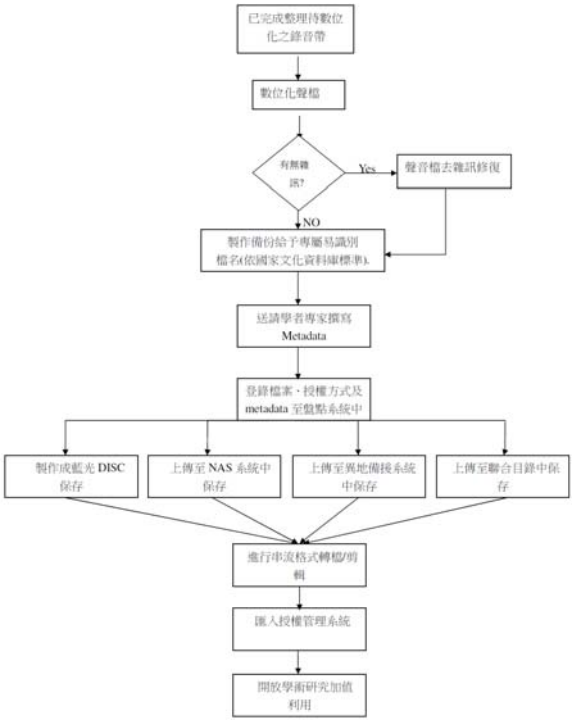


圖 3. 偶戲錄音資料典藏流程

傳統偶戲照片數位化流程如圖 4 所示。

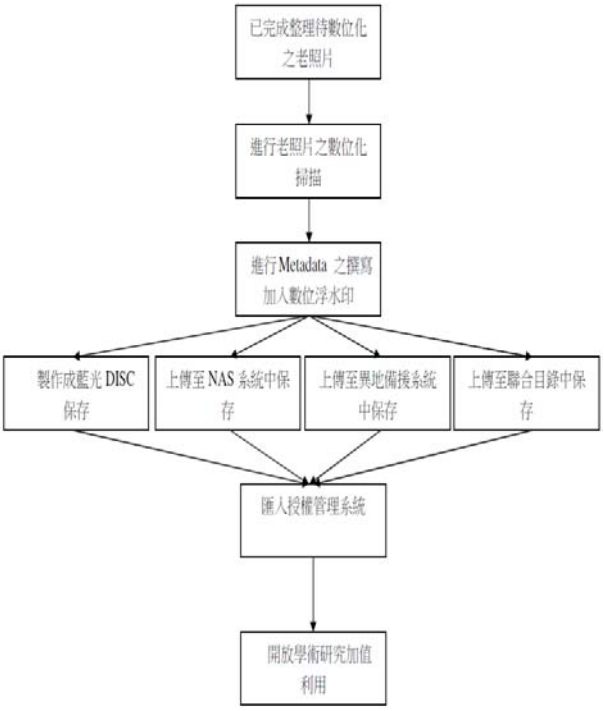


圖 4. 偶戲照片典藏流程

傳統偶戲多媒體影音數位化流程如圖 5 所示。

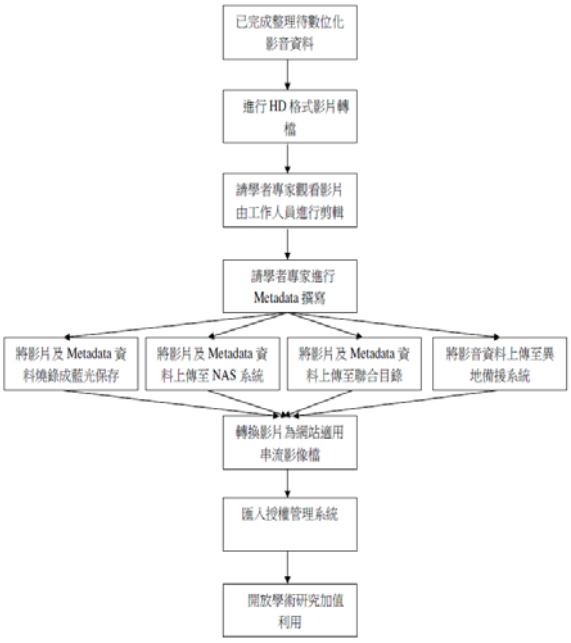


圖 5. 偶戲多媒體影音資料典藏流程

八、結語

數位典藏不應只重視傳統文物之典藏而忽略其加值應用。有系統的收集、整合及典藏傳統文物，固然很重要，但亦應思考傳統文物經數位典藏以後，如何方便相關人員加以應用，創造出新價值，才能建立文化創意產業，並創造出產值。對傳統偶戲之典藏，除具歷史文化之保存與傳承功能外，藉由互動式網站之推廣與相關活動之舉辦，希望能使民眾，由瀏覽及參與中去感受、體驗，進而產生「感動」、「回憶」、「懷舊」，並激發出「熱愛」與「靈感」。

誌謝

本文感謝國科會數位典藏國家型科技計畫經費補助，計畫編號 NSC 99-2631-H-034-004-。

參考文獻

[1] Michael Lesk, Understanding Digital Libraries, 2nd ed., Morgan Kuffman Publisher,San Francisco, CA, USA, 2005.
[2] Roberta Pillette, “Mass Deacidification: A Preservation Option for Libraries,” 69th IFLA General Conference, Aug. 2003.
[3] 經濟部工業局，2010 台灣數位內容產業年鑑，於 2011/6/12 檢索自：http://proj3.moeaidb.gov.tw/nmipo/content/publish/viewcontent.aspx?sn=E39F06B55D6E4282974712B6432532DD
[4] 數位內容學院，數位內容產業定義與分類，資策會，於 2011/6/12 檢索自：http://www.dci.org.tw:8000/portal/display.jsp?definition_page=Portal.IntroducePage5
[5] 文建會，文化創意產業發展法 1/7 在立院三讀通過，於 2011/6/12 檢索自：http://www.cca.gov.tw/artnews.do?method=findById&id=1222852531859
[6] 維基百科，數位典藏，於 2011/6/12 檢索自：http://zh.wikipedia.org/wiki/%E6%95%B8%E4%BD%8D%E5%85%B8%E8%97%8F
[7] Carlos Miranda Levy, “Google Books, the Open Content Alliance and the Internet Archive,” posted on *04 Enero 2010*, retrived on 2011/6/12 at http://www.socinfo.com/google-books-open-content-alliance-internet-archive
[8] Andreas Mauthe & Peter Thomas, *Professional Content Management Systems: handling Digital Media Assets*, John Wiley & Sons, West Sussex, UK, 2004.
[9] 文建會國家文化資料庫知識管理系統，於 2011/6/12 檢索自：http://km.cca.gov.tw

華岡工程學報第 28 期 民國一百年六月 中國文化大學工學院
Hwa Kang Journal of Engineering, Chinese Culture University 28 (2011) 7 - 13

The Study of a Head-Controlled Human-Machine Interface

Sea-Shuan Luo*
Department of Computer Science and Information Engineering, Ta Hwa Institute of Technology
*E-mail : etlss@thit.edu.tw

Abstract

The main purpose of this paper is to describe a head-controlled human-machine interface system that can help people who cannot use their hands to manipulate a device. Our study is to design a head-controlled human-machine interface system. Users can issue four different commands with the tilt of their head forward, backward, leftward, or rightward. We utilize a head-controlled controller designed by ourselves to control a self-propelled vehicle to go forward, go backward, turn left, or turn right to verify the feasibility of the head-controlled human-machine interface system. .

Keywords: Human-Machine Interface(HMI), Head-Controlled, 2-axis accelerator, ZigBee

頭控控制器之人機介面研究

駱詩軒*
*大華技術學院資訊工程學系

摘要

本論文的主要目的是描述一個可以幫助無法使用手去操控裝置者的頭控人機介面系統。我們的研究是設計一個頭控人機介面系統。使用者可以利用傾斜他們頭部向前、向後、向左、或是向右來發出 4 種不同的指令。我們使用一個自己所設計的頭控控制器來控制一台自走車前進、後退、向左轉、或是向右轉，以驗證此頭控人機介面系統的可行性。

關鍵詞：人機介面、頭控、二軸加速度計、ZigBee

1. Introduction

Human and machine interface is an important and critical component of any system [1]. Sometimes, people can't use their hands to move the mouse or use their fingers to touch the screen, but they still need to manipulate their machine. Under such circumstances, that should be some other methods to solve this problem, and the head-controlled human-machine interface seems like to be a good choice.

A lot of configurations and methods for the head-controlled human-machine interface have been

studied. Allison utilize magnetic field signal to analyze head movements [2]. Goldstein calculates the coordinates of head movement with one headlight and two cameras [3]. Lin and Ho propose a double-light source projector and a CCD camera to capture the head movement [4]. Waber and Magee use a camera to detect the tilt angle of the user's head[5]. However, in the previous research, there were many restrictions both on head movements and on the device being deployed. If a head-controlled human machine interface system is used for controller purpose, free movement of head is unavoidable. Because sometimes people need to turn their neck just for relax or just unconsciously. By the way, the head-controlled system must allow the user to turn their head around freely for safety purpose. For example, if this system is used by a handicapped person to manipulate his wheelchair, he needs to turn around his head rightward or leftward for sighting angle.

The main purpose of this study is to design a head-controlled human-machine interface that can help people who cannot use their hands to manipulate a device. We will study the feasibility of the head-controlled human-machine interface. For this study purpose, we design a head-controlled human-machine controller just like the picture depicted in Fig 1, and users can issue four different commands with the tilt of their head forward, backward, leftward, or rightward with this controller as depicted in Figure 2. For verifying the feasibility of our head-controlled system, we utilize the controller designed by ourselves to remotely control a self-propelled vehicle to go forward, go backward, turn left, or turn right.

In the remaining part of this paper, we will describe our head-controlled human-machine controller, implementation result, and conclusion.

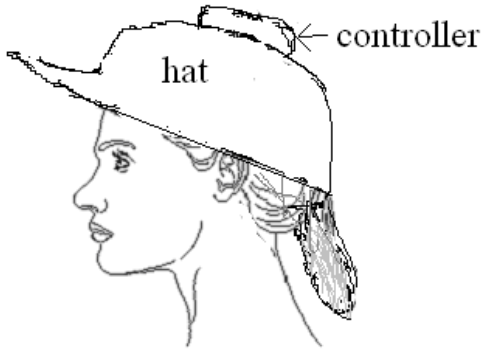


Figure 1 A head-controlled controller

Figure 2 Tilt of head

2. Head-controlled controller

Since the head-controlled controller is used for helping people to control or manipulate devices, it should be mounted or worn on the head. If the head-controlled controller needs to be used in the real world, the mounted controller should be used for a long time, either day or night, and both inside or external a house.

Under such a circumstance, there are several

important issues should be taken into consideration in the design of our head-controlled system. At first, users should be allowed to turn their heads for relax or sometimes unconsciously, so free movement of user's head is necessary. Secondly, the head controller should be connected to the controlled device wirelessly, and thirdly the power used by the head controller should be very efficiently to make the controller more useful.

For the situations described above, the user of the head-controlled controller will issue commands only when they tilt their head over a certain angle. That means the user mounted with our controller can freely turn around their head, or even tilt their head slightly. Actually, the head-controlled controller designed by us will issue four different commands with the tilt of the head forward, backward, leftward, or rightward. With the different combinations and sequences of these four commands, we can generate many different more advanced commands to control the device we want to control.

According to the description mentioned above, we depict the overall structure of our head-controlled controller in figure 3.

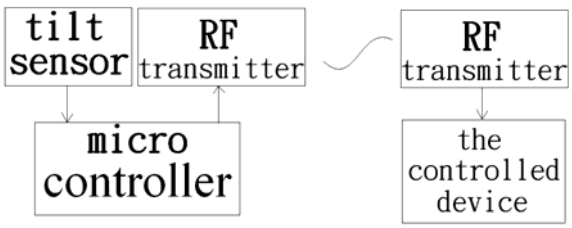


Figure 3 Head-controlled system structure

For the detection of head tilting, we use the dual axis acceleration sensor MX2125[9]. Fig 4 shows the look of the sensor MX2125. The MX2125 has a chamber of gas with a heating element in the center and four temperature sensors around its edge. If you tilt the sensor, the hot gas will be closer to one or maybe two of the temperature sensors, so the tilt angles, or the static acceleration, can be detected by the temperature sensors.

MX2125 can be used to detect the tilt of the head forward, backward, leftward, or rightward, and we can pick up the tilt signal with a microprocessor.

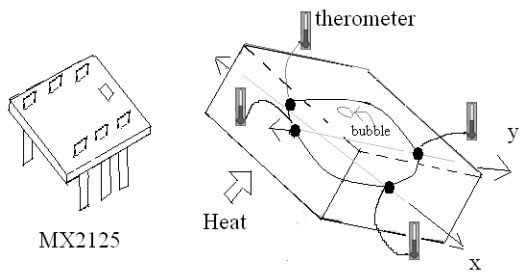


Figure 4 The MX2125 sensor

For the purpose of the controlled signal to be transmitted wirelessly and power usage to be more efficiently, the ZigBee technology will be used. ZigBee is for small size, low cost, and low power usage. Actually, the ZigBee specification[6][7] is based on the wireless home area network standard IEEE 802.15.4-2003. According to the specification, ZigBee works on 2.4G Hz, and since this band is a license free band, so it can be used all over the world. This frequency band has 16 channels, and the data transmission speed can be up to 250 kilobits per second. That means, user can choose an appropriate channel as he likes, also the transmission speed will suffice for a

head-controlled controller usage. Besides, ZigBee also provides encryption capability in the MAC layer, and it use 128 bits AES encryption method for data safety purpose. So, we will use ZigBee module in our head-controlled controller system. The ZigBee module used in our design is the XBee[8] module manufactured by the Digi International Inc. as shown in Fig 5.

Figure 5 the XBee module

We connect MX2125 with a microprocessor as depicted in Figure 6, and the microprocessor can pick up the signal sent out by MX2125 to know the tilt of the head. Then, the microprocessor will send out the tilt command wireless with the XBee module to the controlled device. After the controlled device receives the signal with the XBee module, it will decode the tilt command and fulfill the issued command.

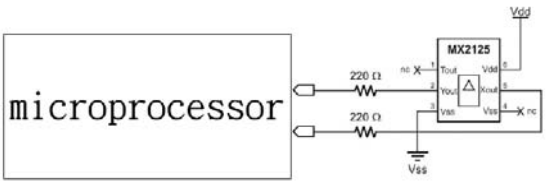


Figure 6 MX2125 connection

The microcontroller and the XBee module are connected through the UART protocol. The connection details and the connection protocol can be found in the datasheet [8].

For the user convenient sake, the head controller will be mounted on a hat, and the user can wear the hat to control the controlled device. Figure 7 is the picture of the head controlled hat designed by us, and Figure 8 is the hat mounted by a user.

Figure 7 The head-controlled controller hat

Figure 8 The head-controlled controller hat

To verify the feasibility of our design, we will use the head-controlled controller to control a self-propelled vehicle. The self-propelled vehicle is a Boe-Bot Robot Kit manufactured by Parallax[10] mounted with an XBee controller expansion module manufactured from the Digi International Inc. Figure 9 is the self-propelled

vehicle mounted with an XBee controller expansion module.

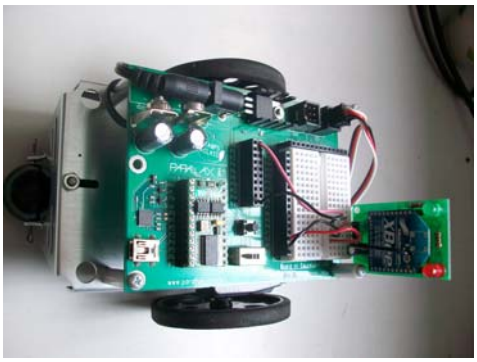


Figure 9 The self-propelled vehicle

3. Implementation Result

Upon implementation of our system, user can wear the head-controlled controller hat to issue four different commands with the tilting of the head forward, backward, leftward, or rightward, and the commands issued by the head-controlled controller are used to control the self-propelled vehicle to go forwardly , go backwardly, or turn right, turn left.

The head-controlled controller will issue commands only when the tilt angle is over a certain amount as described in section 2. The threshold of the angle should not be too small, because people will tilt their head unconsciously. And the threshold should not be too large, because there is a limitation of the maximum angle people can tilt their head.

For the study of the suitable threshold angle of recognizing as an issued command, we design an experiment to better understand the range of the tilt angle range of human head both in the azimuth and elevation direction. We recorded the maximum tilt angle of 20 persons both in the azimuth and elevation direction. The results are depicted in Figure 10.

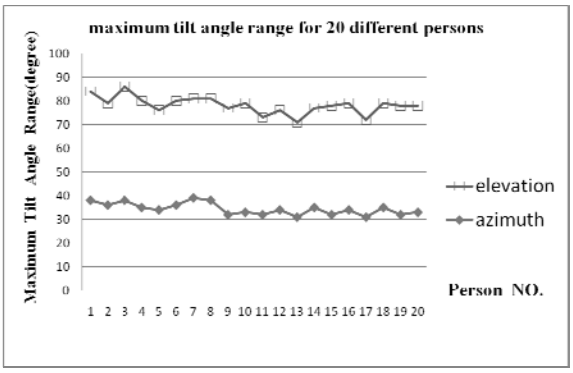


Figure 10 The maximum tilt angle range

In Figure 10, the horizontal axis is the person NO., and the vertical axis is the maximum tilt angle range. According to the experimental result, the maximum tilt angle of the head will vary from person to person, and actually some person may have much smaller tilt angle because of their age or neck problem. The other question is people will tilt their head unconsciously or for relax. For understanding the range of this kind of tilt angle, we also design an experiment to record the maximum tilt angle both of the azimuth and elevation direction for 10 minutes to better understand the small tilt of people head for relaxing or just unconsciously. The result is depicted in Fig 11.

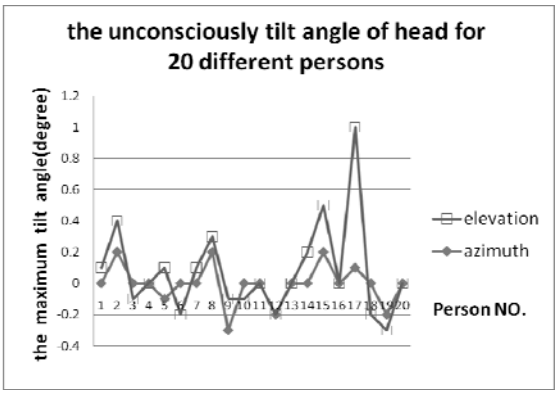


Figure 11 the unconsciously tilt angle of head

In Figure 11, the horizontal axis is the person NO., and the vertical axis is the maximum tilt angle. According to the experimental result, the standard deviation of the unconsciously tilt angle in the elevation direction is about 0.24 degrees and in the azimuth direction is about 0.13 degrees. The experimental information will be helpful in the determination the threshold angle. But we should know that if this system is used in the control of a wheel chair, the users should tilt their head in order to check the ground condition, so the tilt threshold angle should take this situation into consideration, and the angle is about 5.0 to 7.0 degrees.

Since we just want to know the threshold value, we can choose a threshold value achievable by most people. From the experimental results, we suggest the threshold angle for the elevation direction should range from 8.0 degrees to 12.0 degrees, and the threshold angle for the azimuth direction should range from 5.0 degrees to 8.0 degrees. It will be much better if the user of the system can adjust the threshold angle according to their personal condition.

Also, we want to know the maximum distance between the head-controlled controller and the controlled device, so we design an experiment to find out the answer, and it is about 70 meters. Actually, if the head-controlled controller and the controlled device are separated or blocked by wall or some stuffs, the controlled device is still under control, so the head-controlled system is quite safe under the intruder interrupts.

The power of the head-controlled controller used by our experiment is a 9V battery, and it can last several days to several weeks.

4. Conclusion

In this article, we present our study of a different human machine interface method - the head-controlled human-machine interface. For the study of the feasibility of head-controlled remote controller, we designed a head-controlled controller mounted on a hat, and users can wear the hat to issue four different commands with the tilting of their head forward, backward, leftward, or rightward to control any device mounted with the XBee controller module also.

After our detailed analysis and design, the implementation can be fulfilled quite successfully. User can use the head-controlled controller easily and conveniently.

The major achievements in our research consist of the followings: (1) A head-controlled controller. (2) The whole system is easily deployed. (3) The power consumption of the controller is low, and battery power can last several weeks. (4) The size of the system is moderately small. (5) The overall cost is relatively low.

User may doze off as he or she uses the head-controlled controller, and under such a condition, it could cause some kind of accident or even disaster. Since the relationship between doze off and head movements is poorly investigated[11][12], so the author wish further study of this relationship can be studied and the dozing situation can be detected to let the controller more useful.

Another important issue is whether the head-controlled controller will do harm to the user after long time usage, since the head-controlled controller uses 2.4G Hz frequency radio wave, and it is quite close to the user's head. If the head-controlled controller and the controlled

device are not far away, maybe the power can be tuned down, but further experiments should be taken to better understand the actual result.

As a suggestion from the anonymous reviewer, the head-controlled controller will be more useful if the data was taken from 20 handicap persons chosen randomly in the threshold angle experiments described in section 3. This is a very good suggestion, and the author wish he can conduct such an experiment in the near future.

Advances in human-machine interface technologies will lead to greater convenience and more enjoyment also. The study of our research is also beneficial to new game controller or virtual reality applications.

Acknowledgement

This research is part of the result of the Ta Hwa Institute of Technology coordinated project — “Implementation of a wearable body sensor system”, project number TH-99-專研-CSIE-05. Sincerely thank the department of Computer Science and Information Engineering for the help of our project. The author also wants to thank the anonymous reviewers for their helpful suggestion.

Reference

[1]Ben Shneiderman、Catherine Plaisant, Designing the User Interface, Pearson, 2009。

[2] Allison RS, Eizenman M, Cheung B. Combined head and eye tracking system for dynamic testing of the vestibular system. IEEE Trans Biomed Eng 1996, Vol. 43, p. 1073–82.

[3] Goldstein SR, Daube-Witherspoon ME, Green MMV, Eidsath A. A head motion measurement system suitable for emission computed tomography. IEEE Trans on Medical Imaging 1997, Vol. 16, p. 17–27.

[4]Chern-Sheng Lin, Chien-Wa Ho, Novel device for head gesture measurement system in combination with eye-controlled human–machine interface, Optical and lasers engineering, Vol. 44, pp597- 614, 2006.

[5]Benjamin N. Waber, John J. Magee, and Margrit Betke, Fast Head Tilt Detection for Human-Computer Interaction, Boston University Computer Science Technical Report No. 2005-023.

[6]ZigBee Alliance, http://www.zigbee.org/.

[7]E. Callaway, Wireless Sensor Networks, Auerbach Publications, 2003.

[8]XBee Datasheet, http://www.digi.com/products/wireless/point-multipoint/xbee-series1-module.jsp#overview.

[9] http://www.parallax.com/Portals/0/Downloads/docs/prod/sens/28017-Memsic2Axis-v2.0.pdf

[10] http://www.parallax.com/Portals/0/Downloads/ docs/prod/robo/MSRS-Bluetooth-Boe-Bot-v1.4.pdf.

[11] Johannes VAN DEN BERG, Sleepiness and Head Movements, Industrial Health 2006, Vol. 44, pp. 564–576.

[12]Murry Johns, Rethinking the assessment of sleepiness, Sleep Medicine Reviews 1998, Vol. 2 No. 1, pp 3 – 15.

華岡工程學報第 28 期 民國一百年六月 中國文化大學工學院
Hwa Kang Journal of Engineering, Chinese Culture University 28 (2011) 14-19

使用 Elliptical Gabor Filter 做眼睛定位

林于正[1]、李志仁[2*]、孫振東[2]、陳俊榮[2]、楊泰寧[2]、張耀鴻[2]

[1]中國文化大學機械系數位機電所
[2]中國文化大學資訊科學系
*Email:cjlee@faculty.pccu.edu.tw

摘要

本文中我們提出了一種基於 Elliptical Gabor Filter 的眼睛偵測方法。用 Elliptical Gabor Filter 的特性,調整適合的眼睛大小、建立人眼模型，來偵測眼睛。眼睛是人臉上最重要的特徵點，如何能夠快速而且精確的提出眼睛特徵是一個重要的課題，為了提高即時性以及準確性，這邊提出了一個使用 Elliptical Gabor Filter 的定位方法：首先統計人臉資料庫中,眼睛的比例,用來建立一個合適的 Elliptical Gabor Filter,使其能夠在眼睛的區域具有高反應值，再區分出左右區塊後，來定位出眼睛的位置。經過實驗顯示，此方法可以準確的找到眼睛，與其他的方法比較，結果顯示所提出的方法可以使用較少的步驟定位眼睛。

關鍵詞：蓋伯濾波器，眼睛定位，橢圓蓋伯濾波器

Eye Location Using Elliptical Gabor Filters

Yu-Cheng Lin[1], Chih-Jen Lee[2*], Jenn-Dong Sun[2], Chun-Jung Chen[2], Tai-Ning Yang[2], Allen Y. Chang[2]

[1]Institute of Digital Mechatronic Technology, Chinese Culture University
[2]Department of Computer Science, Chinese Culture University

Abstract

In this paper, we propose an elliptical Gabor filter-based eye detection method. Based on the size of the eyes, the parameters of elliptical Gabor filters are obtained and are applied to detect eyes. Eyes are the most important features of human face. Therefore, a fast and accurate eye location method is a very important step. To improve the execution time and accuracy, we propose an elliptical Gabor filter-based approach to detect eyes. After analyzing the proportion of eyes from the face database, we design a suitable elliptical Gabor filter to enable the center of eye with high response. After testing with face database, we show that the proposed method can accurately locate the eyes. To compare with other approaches, the proposed method needs fewer steps and the results are more accurate.

Keywords: Gabor Filter, Eye Location, Elliptical Gabor Filter

一、 前言

在過去的幾十年中，自動人臉辨識出現了顯著的改變，但是要實現一個強大的辨識系統還是很困難，原因在於如何克服臉部的旋轉，光照，還有去除背景影響。從人臉圖片中萃取出特徵之前，需要先將圖片正規化[1]之後，比較容易萃取。眼睛的定位在人臉辨識之中，有著重大的作用，眼睛是最突出的一個特徵，因爲眼睛的位置在人臉圖片上是一個固定的位置，兩眼之間的距離，是不容易受到表情變化跟旋轉影響，眼睛中心的連線，在人臉旋轉的時候，也不太會有彎曲的情形發生，因此眼睛的定位，通常是在人臉辨識系統中的第一步，也是最重要的一步。

以下的一些演算法可以用來定位眼睛[1][2-5]，Gabor Filter 也可以使用在眼睛的定位上。因爲 Gabor Filter 是一種對於紋理有很好效果的濾波器，Gabor Transform 就是其應用。利用產生出不同頻率以及不同角度的 Gabor Filter，其能夠對有特定角度，粗細的圖案，有相對高的反應值，在人臉上，很多都是單一方向的圖形，比較特殊的就是眼睛，鼻頭的部分。圓形的圖樣會使多角度的 Gabor Filter 有反應，所以使用 Gabor Transform，多個角度的 Gabor Filter 有反應值，藉由只有單一方向會有反應，跟多個方向都會有反應，這樣就可以分辨出到底是不是特殊圖形，下面有一些使用 Gabor Filter 的論文，Yang 提出基於 GaborEye 模型和對稱性操作[6]，Gabor Filter 的部分也是使用 Gabor Transform 上面所說的方式，來找出像眼睛這種圓形的區域，之後才利用對稱性操作定位眼睛。Lim 使用 Gabor 以及基因搜尋演算法來做人臉辨識[7]，這篇是先取出四個特徵，做爲 Gabor Feature 分別是雙眼以及鼻子加嘴巴，Gabor Feature 萃取的方式也是使用 Gabor Transform 再利用基因演算法對圖形做訓練，最後辨識出人臉。結合 Gabor Filter 與灰階投影定位眼睛[8]，這些方法可以找到眼睛，但是在對光亮的穩健性，旋轉，表情變化，及其他問題上，可能有些不足，本文提出一個方法，考慮眼睛的形狀以及大小，建立一個 Elliptical Gabor Filter 來定位眼睛，由於眼睛的形狀是橢圓形的輪廓，透過 Elliptical Gabor Filter 能夠有不錯的效果。

跟 Traditional Gabor Filter(TGF)比較，Ring Gabor Filter(RGF)，像是 Circular Gabor Filter(CGF)，Elliptical Gabor Filter(EGF)擁有較少的參數與簡單的結構，形狀跟匹配眼睛區域，實驗證明，這方法具有穩健性，面對光照以及旋轉，整個流程如圖 1 所示：

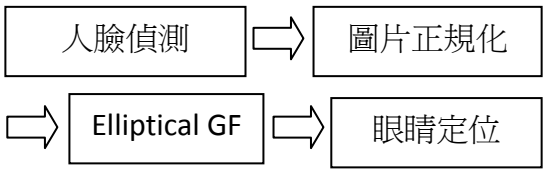


圖 1、流程圖

二、 Gabor Filters

Gabor Transform，是由 Gabor 在 1946 年所提出[9]，可以在頻率域以及空間域有著很好的定位[10]，Gabor Filter 在電腦視覺的應用，有紋理分割以及分類[11]，人臉辨識[12]，指紋辨識[13]，手寫數字辨識[14]…等，Ring Gabor Filter 是對傳統的 Gabor Filter 做修改，是一種 2-D 的帶通濾波器，形狀就像環狀的樣子，最早的設計與使用是在 1980 年 Coggins 和 Jain，用於紋理分析[15]。[16]，提出了有關 Circular Gabor Filters (CGF)的介紹與應用，才又開始應用與研究這項技術，RGF 的應用，在這幾年越來越受關注。Xu 使用 CGF 從虹膜影像中，提出有用的特徵[17]。Xu 也用 CGF 找出 Hela 細胞的區域，我們應用的 EGF，也是一種 RGF，但是他的形狀與 CGF 不同，在本篇論文，EGF 用於眼睛的偵測，會比 CGF 有更好的效果。

(一) Traditional Gabor Filter (TGF)

Traditional Gabor Filter 就是利用不同角度以及不同頻率的 Gabor Filter 來萃取圖片的特徵，Traditional Gabor Filter 的公式如下:

$$G(x,y) = g(x,y)\exp(2\pi jF\sqrt{x^2+y^2}) \quad (1)$$

$$g(x,y) = \frac{1}{2\pi\sigma^2}\exp\left[-\frac{x^2+y^2}{2\sigma^2}\right] \quad (2)$$

藉由調整公式(2)所產生的高斯濾波，產生出各種方向的 Gabor Filter 來達到萃取特徵的目的，利用上面所說的方式產生的濾波器如圖 2 所示:

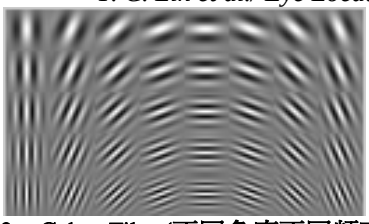
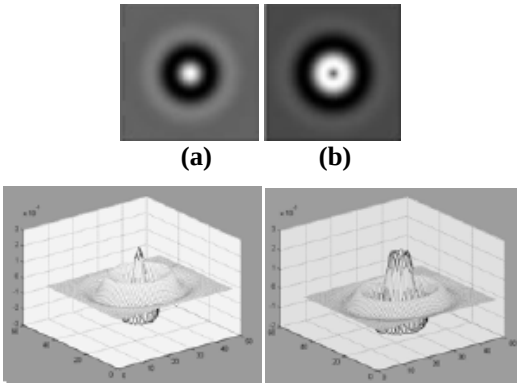


圖2、Gabor Filter(不同角度不同頻率)

(二) Circular Gabor Filter(CGF)

Traditional Gabor Filter 是一個方向的探測器，但是在提取方向不變的特徵，是重要的優點，卻也是一個缺點，Circular Gabor Filter 可以克服方向選擇性，CGF 的定義如公式(1) ，F 爲選取的頻率，g(x,y)爲 2-D 的高斯濾波，如公式(2)但是其中比較不同的地方在於，上面的公式(2)產生的指是其中的一個方向，但是在 CGF 這邊，我們產生的是一個圓形在圖 3 的部分以 2-D，3-D 的方式來顯示 CGF 在空間域的型態，像是水面起漣漪一樣，看起來像是一個環狀的頻域。

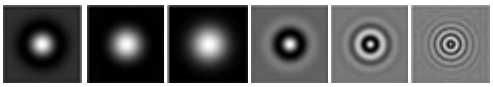
圖 3 爲產生的 CGF，在頻率域以及空間域，圖 4 爲不同頻率的 CGF，圖 5(b)~(g))爲使用圖 4 產生的 CGF 濾波器對圖 5(a)的反應圖。



(a) (b)

(c) (d)

圖3、(a)和(b)爲2-D CGF的實部與虛部，其對應的3-D 爲(c)和(d)



(a) (b) (c) (d) (e) (f)

圖4、(a)~(f)爲不同頻率產生的CGF(實部)，F={8，16，24，32，64，128/256}低到高

(a) (b) (c) (d) (e) (f) (g)

圖5、使用圖4所產生的濾波器對(a)處理後的反應圖

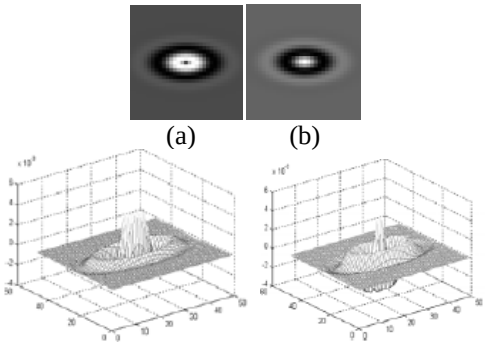
(三) Elliptical Gabor Filter(EGF)

Elliptical Gabor Filter 的形狀像是橢圓，如圖 6 所示，類似 Traditional Gabor Filter(TGF)，這兩種都是高斯函數中的正弦函數而當中的差異是正弦函數的形狀，其 Elliptical Gabor Filter 的定義如公式(1)，其中跟 CGF，TFG 不一樣的地方是產生橢圓，公式如下：

$$g(x,y) = \left(\frac{1}{2\pi\sigma_x\sigma_y}\right)\exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{x^2}{\sigma_x{}^2}+\frac{y^2}{\sigma_y{}^2}\right)\right] \quad (3)$$

多出σ_x，σ_y長短軸的部分，來產生橢圓形的濾波器。

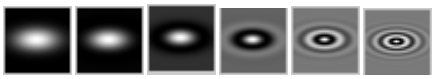
圖 6 爲產生的 EGF，在頻率域以及空間域，圖 7 爲不同頻率所產生的 EGF，圖 8 爲使用圖 7 的 EGF 濾波，處理圖 5(a)所產生的反應圖。



(a) (b)

(c) (d)

圖6、 (a)和(b)爲2-D EGF的實部與虛部，其對應的3-D 爲(c)和(d)



(a) (b) (c) (d) (e) (f)

圖7、(a)~(f)爲不同頻率產生的EGF(實部)，F={1,2,4,8,16,24/256}低到高

(a) (b) (c) (d) (e) (f)

圖8、使用圖7(a)~(f)所產生的濾波器對圖5(a)處理後反應圖

三、 使用 Elliptical Gabor Filter 來定位眼睛

Gabor Filter 的設計，是選擇一組最佳化的參數，來強化眼睛的區域，因爲我們使用的是 EGF 所以我們的最佳參數爲: $\boldsymbol{\sigma_x}$，$\boldsymbol{\sigma_y}$， F，分別是長軸，短

軸，以及頻率，長短軸是產生橢圓形的參數，頻率是控制 Gabor Filter 粗或是細的參數，藉由調整這些參數，便可以定位眼睛位置，在眼睛的水平方向上，灰階值的變化是很劇烈的，也包括很多的邊緣訊息，因此，眼睛的寬度，在設計濾波器時是一個重要的參數，在 128*128 像素的圖片上，眼睛的寬度大約是 10~16 像素所以我們產生相對應的長軸，來確定濾波器可以覆蓋整個眼睛的範圍，短軸的部分，透過實驗，找出最適合的大小，因爲可能會選取到眼睛睜開或微閉，以及有些眉毛比較粗的人，所以藉由調整短軸，可以過濾掉眉毛會過於突出的一些情況，確保眼睛的區域爲最明顯的部分。

實驗步驟，如圖9所示，圖10圖11爲對應圖：

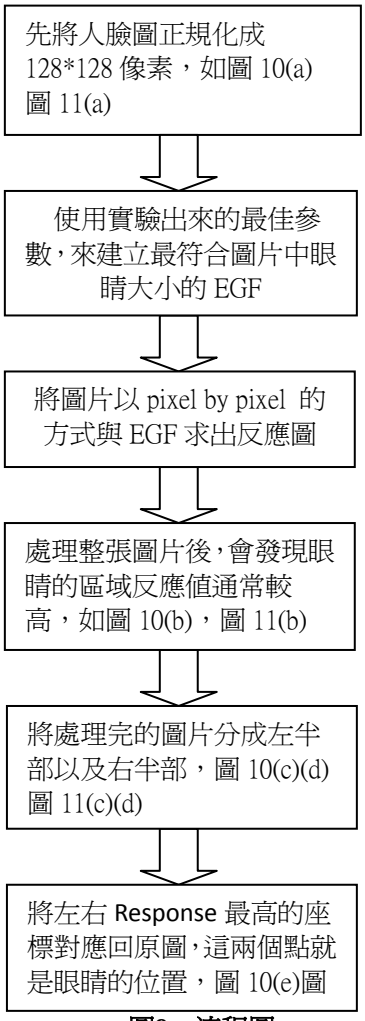
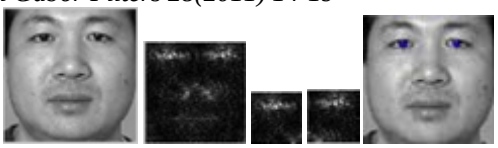
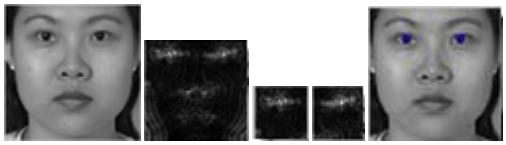


圖9、流程圖



(a) (b) (c) (d) (e)

圖10、原圖(a)對應流程圖所產生的中間結果圖 (b)~(e)



(a) (b) (c) (d) (e)

圖11、原圖(a)對應流程圖所產生的中間結果圖 (b)~(e)

四、 實驗結果

我們測試所提出的演算法的效率以及穩健性，我們所使用的資料庫是 FERET 人臉資料庫[18]。資料庫的部分，我們選用 FERET 的人臉資料庫，FERET Face Database 爲美國 National Institute of Standards and Technology(NIST)中的 Information Technology Laboratory (ITL)實驗室所提供，FERET 其源自 1993 到 1997 年間，美國國防部的一項以自動影像識別爲基礎的智慧型監控系統計畫，而 FERET Face Database 則是提供監控測試以及演算法評估。此資料庫有著相當豐富的人臉影像，目前所有資料庫中最多的一個，在此資料庫中，參與拍攝的人數共有 1208 人，但每人拍攝的條件及張數都不盡相同。

我們從中使用 200 張不同人的正面臉，其中包括不同年齡，不同性別，全部正規化成 128*128 像素經過實驗，眼睛的水平距離約爲 10~16 像素所以選取 EGF 的長軸爲 4.5，6，8，10，來達到覆蓋眼睛寬度來做實驗，眼睛正常打開，微瞇，閉眼的垂直距離約爲 8~10 像素所以我們挑選短軸爲 4.5，5，5.5，來做實驗，頻率爲 1 來做測試，表 1 是實驗的結果。

表 1、不同的長短軸測試的結果，眉毛跟鼻孔爲偵測失敗與成功位置的個數

長軸	短軸	眉毛	鼻孔	定位成功
4.5	4.5	2	16	182/200
6	5	2	13	185/200
8	5	1	5	194/200
8	5.5	2	7	191/200
8	5	1	4	195/200
10	5	7	14	179/200

由表 1 得知調整長短軸大小，越符合眼睛區域的形狀，就能越準確的定位出眼睛，不過還是有些失敗的地方，有些是眼睛瞇的太小，以至於被眉毛搶走，鼻孔的部分則是反應值很相近，但是因爲有些角度是從偏下方往上拍，或是被拍照的人有點抬頭的情況，造成鼻孔的部分露出較多，且在鼻翼的部分，形狀也有點像是橢圓形，所以造成反應值被搶走，不過在調整長短軸的實驗中，看出，調整長短軸的值，還是可以有效的減少，以及降低被鼻孔影響的圖片數。

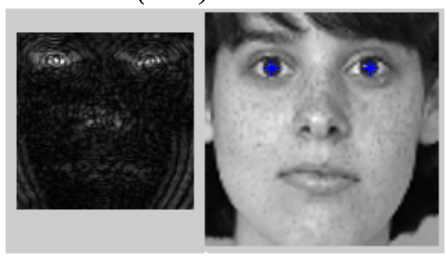
表 2、眼睛定位正確率

	Ref[6]	Ref[8]	Our Method
定位率	95%	93%	97.5%

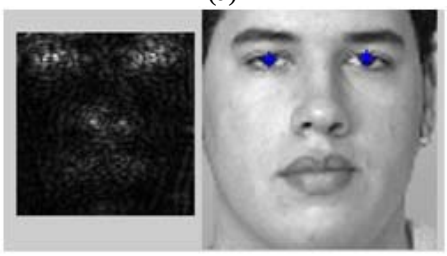
經過實驗的結果，由正確率可得知，在經過調整長短軸的大小以及選取最佳的頻率，我們所提出的方法可以有很好的效果。

五、 結論與探討

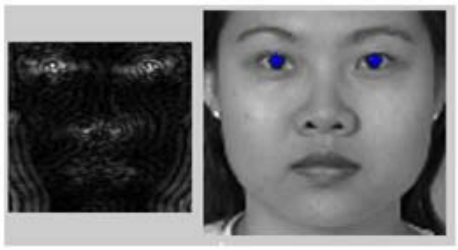
我們所提出的方法其定位率高於其他方法，Y. F. Zhang 所提出的方法 [19]使用結合兩種方法，透過 EGF 搜尋粗略的眼睛位置，在從粗略的眼睛位置中使用 CGF 定位出眼珠的位置，而我們只使用 EGF 經由調整長短軸，讓 EGF 的形狀符合眼睛的形狀，得到反應圖，檢查反應值的大小，找出反應值大者就可以定位眼睛的位置，圖 12 爲定位結果，圖 13 爲失敗的結果。



(a)

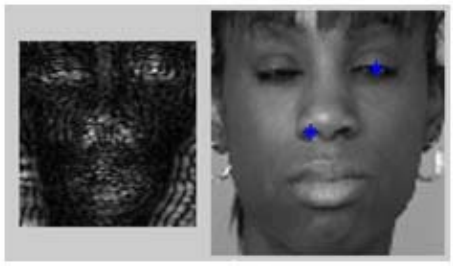


(b)

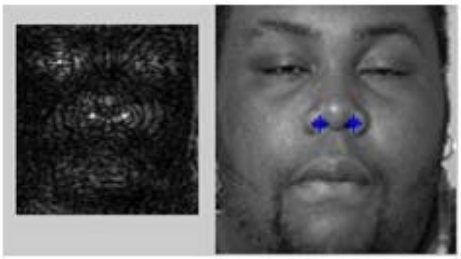


(c)

圖 12、(a)~(c)眼睛定位結果



(a)



(b)

圖 13、實驗失敗的部分(a)(b)眼睛微瞇，被鼻孔搶走

參考文獻

[1] K. M. Lam, H. Yam, "Locating and Extracting the Eye in Human Face Images," Pattern Recognition, pp. 771-779, 1996.

[2] H. Zhou, X. Geng, “Projection Functions for Eye

Detection," Pattern Recognition, No. 5, pp. 1049-1056, May 2004.

[3] Y. Ma, X. Ding, Z. Wang, N. Wang, "Robust Precise Eye Location under Probabilistic Framework," Proc. 6th IEEE Int'l Conf. on Automatic face and Gesture Recognition (FGR'04), pp.339-344, May 2004.

[4] Z. Niu, S. Shan, S. Yan. X. Chen and W. Gao, "2D Cascaded Adaboost for Eye Location," 18th Int'1 Conf. on Pattern Recognition, Vol.2, pp. 1216-1219, Aug, 2006.

[5] L. Yuille, D. S. Cohen, and P. W. Hallinan, "Feature Extraction from Faces Using Deformable Templates," in IEEE Proc. of Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR 1989), pp. 104-109, Washington, DC, June, 1989.

[6] P. Yang, B. Du, S. Shan, W. Gao, "A Novel Pupil Localization Method Based On Gaboreye Model And Radial Symmetry Operator," Proc. of ICIP 2004, pp.67-70, 2004.

[7] R. Lim., M. J. T. Reinders, Thiang, "Facial Landmark Detection Using A Gabor Filter Representation and A Genetic Search Algorithm," In: Proceeding , seminar of intelligent technology and its applications.

[8] S. Li, D. Liu, L. Shen, "Eye Location Using Gabor Transform", Measurement and Control Techniques, Vol. 25(5): 27-29, 2006.

[9] D. Gabor, "Theory of Communication," Journal of the Institute of Electrical Engineers [J], Vol.93 (26): 429-457, 1946.

[10] J. G. Daugman, "Uncertainty Relation for Resolution in Space, Spatial Frequency, and Orientation Optimized by Two-Dimensional Visual Cortical Filters [J]," Journal of the Optical Society of America, Vol.2 (7):1160-1169, 1985

[11] T. Chang and C.-C. J. Kuo, "Texture Analysis and Classification with Tree-structured Wavelet Transform," IEEE Trans. Image Proc., Vol. 2, No.4, pp. 429–441, Oct. 1993.

[12] C. Liu and W. H., "Independent Component Analysis of Gabor Features for Face Recognition," IEEE trans. Neural Networks, Vol.14, No. 4, pp. 919-928, July 2003.

[13] J. Yang, L. Liu, T. Jiang and Y. Fan, "A Modified Gabor Filter Design Method for Fingerprint Image Enhancement," Pattern Recognition Letters, Vol. 24, No. 12, pp. 1805-1817, 2003.

[14] Y. Hamamoto, S. Uchimura, M. Watanabe, T. Yasuda, Y. Mitani, and S. Tomota, "A Gabor Filter-based Method for Recognizing Hand Written Numerals," Pattern Recognition, Vol. 31, No. 4, pp. 395-400, 1998.

[15] J. M. Coggins and A. K. Jain, "A Spatial Filtering Approach to Texture Analysis," Pattern Recognition Letters, Vol. 3, No. 3, pp. 195-203, 1985.

[16] J. G. Zhang, T. Tan and Li Ma, "Invariant Texture Segmentation via Circular Gabor Filters," Proceedings of the 16th IAPR International Conference on Pattern Recognition (ICPR), Vol. 2, pp. 901-904, 2002.

[17] S. Xu, N. Sun, M. Cao, "Wall_Pasted Cell Segmentation Based on Circular Gabor Filter Bank," ICWARP 2007, Beijing, pp. 1735-1741, Nov. 2007.

[18] P. J. Phillips, H. Moon, P. J. Rauss, and S. Rizvi, "The FERET evaluation methodology for face recognition algorithms," IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, Vol. 22, No. 10, October 2000.

[19] Y. F. Zhang, N. L. Sun, Y. Gao, and M. Y. Cao, "A New Eye Location Method Based on Ring Gabor Filter," ICAL 2008. IEEE International Conference on Automation and Logistics, pp. 301-305, 2008.

華岡工程學報第 28 期 民國一百年六月 中國文化大學工學院
Hwa Kang Journal of Engineering, Chinese Culture University 28 (2011) 20-27

機房共構服務之管理模型研究：以政府機關為例

李國豪[1]、孫振東[2*]、李志仁[2]
[1]大同公司 資訊系統業務處
[2]中國文化大學 資訊科學系
*Email: jdsun@faculty.pccu.edu.tw

摘要

政府組織改造於民國 100 年起履行，部會數量將由現行 37 個減為 29 個。屆時各部會資訊部門暨資訊措施預期將進行調整與整併；為減少組織改造後所帶來的衝擊並符合節能省碳的國際環保趨勢，由行政院研考會試辦共構機房，將資訊資源集中共用。共構機房是以服務為導向將資訊資源進行集中與共用之大型機房，然而在操作及管理上比起自用機房而言則是相對困難許多的。是故，如何快速即時且安全的提供共構機房服務是相當重要的議題。本研究遵循 ISO 20000 及 ISO 27001 國際規範標準的最佳指導，提出以自動化流程整合管控及自動化資源統籌佈署為目的之「統合且機動之維運管理模型」，以本研究提出的模型可以實現服務即時性及資源統籌整合的目的，同時降低在共構機房維運操作過程中，「人」所造成的潛在資安風險因素。

關鍵詞：共構機房、資訊安全管理系統、資訊技術架構資料庫

A Study of ISDC Service Management Model: The Case of Government Organization

G.-H. Li[1], J.-D. Sun[2]*, C.-J. Lee[1]
[1] Information System Business Division, Tatung Company
[2] Department of Computer Science, Chinese Culture University

Abstract

The number of ministries and councils will be reduced from 37 to 29 at 2011 government reform. It will result in the adjustment and integration of IT departments of related organizations. In order to mitigate the impacts from reorganization and follow the global trend of saving energy and reducing carbon dioxide, RDEC (Research, Development and Evaluation Commission of Executive Yuan) has set up an ISDC (Integrated and Shared Data Center) for data centralization and sharing. ISDC is a service oriented IDC (integrated data center) which is a large-scale facility providing data and Internet service for all participated departments. However, the management and operation of ISDC is more complicated than that of a private data center. Therefore, how an ISDC provides real-time and secure services is an important issue. Based on ISO 20000 and ISO 27001, this study proposes an integrated real-time operation and management model using automotive SOP (standard operating procedure) control and overall resource distribution. Implementation of this model can achieve the purpose of real-time service and resource integration. It also eliminates the potential man-made security risk during ISDC operation process.

Key words: ISDC, ISMS, ITIL

一、前言

現今資訊發展快速，爲提供更快速的資訊交換及更多元的服務提供，大量的應用服務與硬體擴充需求因應而生，帶來的是更高速的網路交換能力和更完整的資訊應用服務。而大量的硬體擴充與應用程式的配置往往因功能的限制或資訊安全的要求而無法充足利用硬體的資源，致使單一台應用主機之資源使用率遠低於主機的負載能力而形成資源的浪費，耗損的資源包括了電力的耗用、機房空間的佔用、維護的成本以及熱能的增加，進而影響的是整體機房軟硬體架構及基礎設施的配置能力，傳統的解決方式不外乎是機房擴建或應用程式的改寫與整併，然而卻無法停止高額的維護與機房維持成本費用。近年來逐漸興起的趨勢響應與解決方案是綠能機房與主機虛擬化技術，但上述的解決方案卻得付出高額的代價去轉嫁原架構即需耗費的成本，如更高的電力的需求，更高的機房溫度。另一解決方案則是主機代管或無主機服務，藉以省卻主機的購置或維持成本，藉此同時也解決了機房電力與環控系統等相關議題。

藉由不同單位或企業分別將系統服務或主機設備移轉搬遷至私有地點外的大型機房並繼續提供服務，則稱之爲機房委外或主機代管服務。機房共構是客戶自身擁有的電腦伺服器或其他資訊設備，並把它放置在提供代管服務的整合資料中心(Integrated Data Center, IDC)或特定的專用機房，其硬體設備及其應用服務系統，則由客戶自己進行維護，或者是另外委由其他的維運服務廠商進行維運與管理。共構機房通常是屬於公家體系集中並加以整合之資訊資產資源，以期靈活運用並降低維持成本之資訊改造產物，以集中所屬行政體系之資訊資產爲範圍。機房共構簡單來說就是將硬體設備整合到集中的機房，如此可以做一個有效的整合，來達到降低經費成本，並藉以解決自行維持機房之維護及基礎設施擴充之問題[1]。

依前述，政府正積極進行機房共構計畫，機房共構於架構及理念則相似於機房委外及 IDC 服務，但機房共構一詞則較偏向政府單位以所屬部會爲單位整併服務或主機設備之大型共用機房。經過相當之共同服務整合與設備共用，機房共構可在設備購置成本及維護成本等獲得有效的降低，但也卻可能帶來其它可能的疑慮，如資訊設備及軟體的資訊安全相關的考量，維持系統服務的可用性，甚至是現行服務系統、硬體設備移轉至共構機房時可能造成的系統服務中斷、資料的同步問題等。許多大型重要內部及對外服務系統於 SLA(Service Level Agreement)的定義大多高於 99.5%甚至 99.9%以上，如何在移轉過程中達服務不中斷或將中斷時間縮減到最短也將是導入機房共構可行性的重要考量項目。共構機房所提供基於整體資訊資源配置、及因應參與共構之機關提出之服務變更申請的處理時效及延伸的管理、流程安全性而言，將影響著機房共構參與者之意願，同時直接影響著共構機房之經營成效。故共構機房整體資源的統合管理能力及遵循國際標準規範爲依據並使工作流程標準化並降低風險是很重要的。

參與機房共構的過程中對於共構機房端或是參與者端，無論於硬體設備或既使用軟體、應用程式之設定皆造成相當的變更需求。例如參與者將 A 系統服務移至共構機房的過程(參與可以僅是服務參與或是原機參與)，參與者大多僅進行主機設備網路設定值的變更、應用程式的微幅修改；對於共構機房端則需面臨相當繁多的變更過程，從櫃位的配置、供電的確認到機房端網路及資安設備的變更調整、虛擬主機與儲存空間的配與、管理監控機制的協調、備援備份的提供等等…，依前述可知若不具有適當之連動管理佈署機制，爲提供參與者合適的使用環境，共構機房端必須經過相當冗長的變更與測試、除錯過程方能提供適合該參與者的使用環境。

本研究將上述所提及相關議題以機房共構之理念及目的爲範圍，並以實際參與運作之政府 e 機關共構機房(本研究以下若僅提及共構機房而未述明所屬單位者，皆爲政府 e 機關共構機房)爲研究對象，於機房共構理念的架構基礎上，設計一套適合運作於共構機房端之管理與變更設定自動化佈署模型稱之爲統合且機動之維運管理模型，除減少設備及服務提供時之過程繁鎖與耗時費工外，亦縮短維運整體耗用時間及降低因不符合業界規範及標準流程而導致的額外問題或錯誤。同時本研究依循 ISO 27001 及 ISO 20000 之相關要求

與規範爲指導原則，藉以顯示本研究提出之貢獻於實務上之安全符合性。

二、共構機房概述

政府及企業爲減少自用機房之營運成本及無法有效評估的機房成長，同時響應綠色環保之節能減碳趨勢，一般是將系統主機移至 IDC 機房中所租用的機櫃空間或租用 IDC 業者提供之主機並將服務移轉至該租賃主機，藉此達到本地端機房需求性縮減或無機房之環境。機房共構則屬於公家單位之相同需求與使用模式，被定義提供共構服務之機房則稱之爲共構機房，共構機房可以是自建之大型機房或向 IDC 租用且再行規劃過後之特定機櫃群或空間群，共構機房一般由上級單位整合所屬部會集成之，屬特定組織之部會群的機房集合。因應政府持續進行之資訊改造及組織調整，共構機房高彈性的機房整合可支撐未來規劃之服務整併需求，且共構機房之可行性已由該計畫之提出單位-行政院研考會暨所屬委員會共構機房獲得驗證[2][3]。

未來機房共構趨勢可預期於架構面將更加擴大，在服務面將更注重整體之整合性。一般自用機房所面對之問題及共構機房(以本研究對象，坐落於 IDC 機房之政府 e 機關共構機房爲例)之解決說明如下：

(一) 機房空間擴充性

自用機房初期建造規劃，往往依據現行系統設備規模數量相對需求空間、預估成長空間之保留數量、建築物規範、室內空間與強度限制、成本預算等因素進行整體考量與設計。而面對不可預期之單位或企業規模擴充、服務系統需求增加等帶來之資訊改造與系統設備增設。有非常高的比率將面臨現行機房可用性與擴充性問題，一則花費鉅資將原機房進行改建擴大；二則折衷機房標準配置以容納更多設備。而機房之擴充與改建往往將連帶耗費成本將機電配置、空調及消防系統、環控系統進行相關變更以符合改建後機房需求。故自用機房通常將面對改建或接受風險的處境。針對上述因應之另項作法即機房共構，一般共構機房則以 IDC 機房爲主。IDC 機房主要爲空間租用、機房代維代管等。在商業行爲追求最大利益前提下，故 IDC 機房之空間及機電、環控設計皆以空間最大利用率及最大承載力爲設計優先考量，所以在空間之擴充性方面具有相當大之彈性，參與共構之使用者可依現行進駐系統設備數量以僅足夠使用的方式配置，後續再依系統設備之擴充與刪減，彈性調整租用空間及機櫃數，利於在成本面及擴充性之間取得較佳平衡。

(二) 空調及機電維護問題

一般企業或單位內之電力空調大多得依機房環境及溫溼度需求而進行相應設備之購置與維護，相關周邊設備如循環冷卻外座及管線配置，除了佔用機房空間外，於屆年限時更須要進行換置。因爲業務量及服務需求增加，設備持續增加而導致機房空間不敷使用，因此進行機房改建及擴建，空調設備亦得進行變更或換裝更大型之冷房及溼度控制設備，使得設備活用率下降及成本增高。而參與機房共構而使用如 IDC 等大型機房則可省卻此項購置及維護的費用，雖然 IDC 內相關的設備之成本已加諸於租用費用中，但與單位內節省之空間及維護費用、高額電力費用相較下來則更突顯整體之節省比例。機房內的電力、空調、消防、安全及環控系統是高度相互依賴的，所以任何一項機電導致的問題，都將可能致使上述系統的潰決進而引發更大的災害。所以機電之維護與維持是機房賴以維生的基礎項目。然而一般機關的機房管理在營運能力方面，鮮少能做到 7x24 的機電維護待命編組，較大多數是取而代之以定期保養、緊急報修的委外合作來進行。顯而易見的是真實狀況發生時是無法即時且有效的解決。而 IDC 機房則是配置隨時待命的專職機電維運人力編組，不僅可在平時確保所有系統正常操作，延續系統功能使用年限，更可在不預期狀況發生時，即時且有效地排除障礙，延續機房服務之持續性並以維持服務之品質。

(三) 維運人力及管理問題

再就監控作業管制中心而言，它是機房五大系統的應用管理者，從人員管制、系統監控到資料分析等，都是爲了預防任何不必要人爲疏忽而造成災害；除此之外，它還兼具了應用網路與電信系統的維護、客戶服務與聯繫窗口功能。因此，監控作業管制中心的人力編成是否允當，會影響機房是否能正常地運作。一般而言，兩個作業人

力是基本的編組，計算基準是以一個待命監控人力，加上一個可執行服務作業的人力，這樣的編成才能執行有效且安全的管制作業。 因此，監控作業管制中心的人力投入，便可藉由委外機房共構之方式來減少機房維運成本。

三、統合且機動之維運管理模型設計

本研究提出一具關聯性之統合暨佈署設定模型，稱之為統合且機動之維運管理模型。模型架構如圖 1 所示：

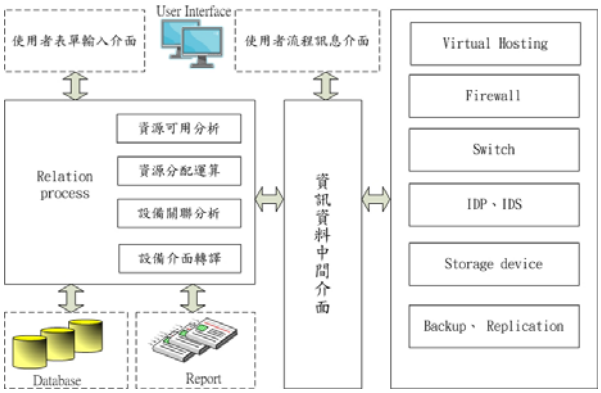


圖 1　統合且機動之維運管理模型

研究模型元件說明：

(一) 使用者表單輸入介面

表 1　套裝服務項目表

服務類別	須同時進行調整及設定之相關聯系統或設備
虛擬主機服務	Virtual(VMware or Hyper-V)Center Platform、Router、Farm Switch、Firewall、IDP
Storage 服務	Storage Device、SAM Switch、Target Server Device
郵件主機服務	Mail Server configuration、DNS Server configuration、Firewall、IDP
備份備援服務	Virtual(VMware or Hyper-V)Center Platform、Virtual Host、Router、Farm Switch、Firewall
虛擬防火牆服務	Firewall Device、Farm Switch、Router
負載平衡服務	L4 Switch、Firewall
頻寬管理服務	Bandwidth Management Device、Router
VPN 服務	VPN Device、Firewall、Farm Switch
網站防火牆服務	Target WEB Server、Firewall

使用者表單輸入介面提供使用者友善之輸入介面，由使用者直接勾選相關套裝服務(套裝服務至少包括如表 1 所述)需求並填註適當備註並確認後，該份需求輸入即成為一案件待處理。輸入介面至少提供 GUI 之 Web Interface 及安裝於客端之使用者應用程式介面。共構機房維運人員取得已獲責任承辦單位認可之前述服務需求案件後，進行第一線資訊審驗檢視及必要時之溝通後允許該案件資訊進入 Relation Process 執行關聯分析處理。

(二) 關聯性分析處理(Relation Process)

本模型之關鍵在於常態性的蒐集整體資訊環境中之所有必要之即時系統及設定資訊。以服務需求為增設虛擬主機提供予 A 部門，申請 20GB 的主機空間，2T 的資料儲存空間為例，關聯分析處理單元常態性的蒐集各虛擬主機、儲存陣列、網路頻寬使用等使用率及負載，並由階層設備關聯資訊資料得知各系統設備間的關聯性及可用性，如虛擬主機群與 Server Farm 交換器、與後端 Sam Storage 的實體連接關系、Vlan ID、Zoning 的對應資訊。Relation Process 依需求案件之資訊(20GB 的主機空間，2T 的資料儲存空間)經常態蒐集之即時整體容量資訊處理後，Relation Process 可依容量現狀、負載率、服務水準等級、系統重要程度等，提供一最佳的佈署資訊，如建議佈署於 A 虛擬主機及 B 儲存陣列中，並繪製出一關聯佈署拓樸及清單，包括了所經各節點設備(SAM Switch、Firewall、Farm Switch、IDP 等等)之實體或虛擬連接方式及可用率分析表。所有的常態蒐集資訊皆存放於資料庫中。

於上述處理後已獲得需連帶調整設定之系統及設備列表，接著本模型處理單元將進行設定值轉譯，依據已套用之設備設定檔格式及即存之設定語法資料庫，將輸入需求資訊依本模型單元處理後之最佳關聯佈署拓樸及清單進行轉譯，意即轉譯出供 Virtual(VMware or Hyper-V)Center Platform 可自動佈署 Virtual Host 的設定輸入，及 SAM Switch 設定值(Zoning 等)、Farm Switch 及 Router 設定值(Vlan ID、Assign Interface、Routing 等等)、Firewall 設定值及 Rule 等。

至此並產生相關系統設備之原組態備份，於

共構機房維運人員審驗後允許派佈，經由資訊資料中間介面調整及修改相關聯設備之設定組態。

(三) 資訊資料中間介面

資訊資料中間介面是 Relation Process 與終端設備群組之間溝通的橋樑，最佳方案是設備介面 Console 模組信任來自本模型資訊資料中間介面所推入的設定資訊，可能涉及設備產品的客制及廠商合作，將不在探討範圍之內。最低層級仍可試作以應用 SNMP 方式或以 shell script 等方法操作設備 console 介面的方式來推入設定值。

(四) 終端設備群組

終端設備群組即最適配置之所有關聯設備之群組集合。

(五) 使用者流程訊息介面

於服務申請至共構機房因應配置結束而告結案的期間，使用者關心的是目前的進度及預計完成日期，這裡指出的使用者包括了申請人以及共構機房維運小組成員，責任單位承辦人。使用者可在此流程訊息介面中得到目前流程進展的回饋以及必要資訊，諸如虛擬主機及儲存陣列 Create 的進度，作業系統自動派佈安裝完成的百分比、各關聯設備自動調整或設定的完成度及自我驗證及測試的結果等等。

對於管理者而言，如共構機房維運小組成員及責任單位承辦人。使用者流程訊息介面則包括了更深層的管理介面，包括了系統警示設定、報表產製介面、資料庫維護介面、拓樸管理、關聯性維護、範本更新、系統測試等管理項目。

(六) 資料庫單元(Database)

庫料庫單元存放本研究模型機制所蒐集之所有資訊資料、正規化後之 log 事件、流程事件內容、設備關聯及拓樸索引等，可提供報表單元及關聯分析引擎等進行資料存取及匯集。

(七) 報表單元(Report)

報表單元於日常維運下可產製各處理案件流程事件之報表及各項匯聚總覽報表，並可依環境需求參數的定義自動產出服務水準 KPI，提供完善之報表功能。

本研究提出之模型是以關聯性分析處理為核心，依據既存且持續蒐集維護的資料庫內資料，於接獲共構機房使用單位提出之機房服務申請或變更時，藉由使用者輸入介面提供充份之相關資訊條件參數，經維運單位審驗並由本模型進行關聯分析後，將產生依客戶服務申請條件相應之「設備設定佈署或調整清單」。其次本模型之系統設備轉譯單元負責將各調整條件需求轉譯為「設備設定佈署或調整清單」中各系統設備之特定設定值，再經審驗單位確認無誤後，本模型備份現行系統設備群之設定值並紀錄差異，再將設定值推入眾系統設備群中即時且快速的進行設定更新或建置等自動化佈署作業。

四、規範之導入與協作

共構機房營運過程中，相關程序如變更過程應保證紀錄的完整性及可追溯性，且為確保維運的過程是依循著標準作業流程來確保作業的標準化及一致性，且在資訊安全系統規範的原則下是安全的，應遵循一套公認的標準規範制訂相關維運管理流程、以制度約束資訊安全的變化，以保障維運執行的標準性及整體資訊環境的安全性。

本研究以 ISO 27001 的規範要義來對照導入，達到資訊安全管理的目標：

(一) 資訊部門在組織中的角色由以往被動的功能，轉變為承上啓下的溝通橋樑，成為推動資訊安全管理的重要基礎。

(二) 組織建立資訊科技管理流程，發揮有效的資訊安全管理，使資訊安全管理得以融合於 PDCA(Plan-Do-Check-Act)的運作模式。

(三) 組織擁有資訊安全管理專業素質高的資訊人員，同時提高資訊人員發展資訊技術以外職能。

(四) 組織引進資訊技術，大幅提升資訊安全管理流程自動化之程度，並降低人工作業，使資訊人力運用更加靈活。

本研究導入 ISO 20000 之 ITIL 資訊技術服務管理架構[4]，來改善資訊服務作業流程，進而提昇資訊技術服務效率，並使供需雙方皆有所依循，通過實施 ITIL 體系中的事件、問題、變更、配置、上線等管理流程。提升一線支援的知識及能力，從而提高問題的解決率，繼而降低了一線

支援成本和二線支援的工作量。再者，通過協調和提升一線和二線支援之間的協同，減少事件處理的時間，並根據可得到的配置管理資訊，可供變更管理快速分析事故發生的根本原因，同時提高了組織對衝擊和風險的分析能力，降低意外事件的影響，並有效的對風險進行分析與因應。

五、統合且機動之維運管理模型效益分析

大型機房繁雜的維運及管理工作可藉由引入業界一些中央管理系統來進行管理，如中央網管平台負責集成管理眾多同品牌的網路交換設備、V-Center 統籌管理 VMware 虛擬主機或者以事件分析系統來統合監控事件紀錄。但難免對設備的作業性質、配置屬性或廠牌等顯得非常局限，藉由不同套裝解決方案最常見(亦不樂見)的結果將是擁有多個獨立的中央管控平台來分別監管不同性質、階層、屬性的設備群，雖減少了人工需監控的設備之總數量，但各別中央管理系統所存放的資訊之間的符合性、同步性和關聯性則顯得疲弱，帶來的另一問題可能是得在不同性質的中央平台上維護重複的資料，甚至正確性難以維持。

總的而言是缺乏一統合的機制藉由同一個資料庫來蒐集並存放所有必要資料。本研究機制即是以同一資庫料庫(CMDB)來存放整體資訊、資產、資源的任何資訊，如此可維持所有資料的單一性及正確性。藉由上述的前提及本模型機制的資訊資源統合，與前述不同性質各別中央管理平台及傳統式的人工管理機制比較，可以獲得如表 2 的效益差異。

共構機房是以服務爲導向而成立之大型暨資源靈活運用的資源共用整併架構。對於參與共構之各機關而言，原本隸屬於各機關內部且自行變更與建置的資訊資源，在共構爲求整體制度程序流暢及統一，及確保管理及流程一致性的前題下，於參與機房共構後將是以服務申請的方式呈現。對於參與共構的單位而言，以往的資訊資源變更，如防火牆規則的變更、新主機的建置、儲存系統的擴充等，在機關內部經內部辦理程序後即可於許可時段內持續進行；對於共構機房的經營模式而言，除經過申請機關內部程序外，更需跨越共構承辦機關程序，繁多的文件簽審、維運人員的需求溝通確認、機關之間的表達認知等，更突顯程序的複雜程度。

共構機房若不具備服務申請的快速性，共構的效益將只突顯在節能省碳及資源整併共用的議題上，對於服務方便性和透明性將可能成爲共構理念最大的瓶頸所在。

表 2　本模型機制與其它機制效益比較表

機制 / 效益	統合且機動之維運管理模型	不同性質各別中央管理平台	人工維護
統合管理性	高	中	低
人工介入性	低	中	高
資訊安全性	中高	中低	低
集中管理性	高	中	低
整體事件及時性	高	中	低
服務快速性	高	中低	低
擴充發展性	高	中	None
風險程度	中低	中	高
變更安全性	高	高	低
應用於維護服務複雜程度	低	中	高
機制初建置困難度	中	低	低
機制維護困難度	低	中高	高
共構機房適用性	高	中	低

本研究機制內即以 ITIL 爲流程範本，提供流程化的方式來簡化複雜度及確保作業的標準化，藉由客戶端輸入介面取得的服務需求經審認單位及維運單位於執行佈署前後的流程化電子簽審，到單一資料庫的資料一致性保證，最後所有歷程任何時期的任何分析報表提供。申請機關可以得到的是快速的服務、一致性的溝通互動管道和完整的資訊資源使用歷程及分析。於共構機房服務提供而言，本研究機制及現行機制(政府 e 機關共構機房現行機制約 70%爲依賴人工，30%倚重中央管理平台)在服務提供效率性的效益比較如表 3 所列。

依表 3，在服務類別中各服務項目的平均耗

時是單獨計算的。在本研究機制及現行機制各服務項目的單獨比較中可知運用本研究機制將可獲得更短的建置時間耗用，傳統人工的佈署設置是需先行尋找出所有關聯設備後再依靠人工輸入及操作，本研究機制之自動化佈署則依據所蒐集之完整資訊資源資料自動描繪出設備關聯性，再利用局限範圍性的問答表單為服務申請電子表單，再以分析系統將客戶輸入的關鍵部份成為本研究機制輸入的變數，由系統自動生成指令並推入設備進行佈署。

表 3 導入本研究機制前後服務提供時效表

服務類別	現行平均耗時(小時)	本機制平均耗時(小時)
虛擬主機服務(申請 1 台)	2	< 0.25
儲存服務(申請 1 座)	8	< 0.25
防火牆服務(20 條 Policy)	1	< 0.05
頻寬管理服務(3 種協定管理)	1	< 0.05
SSL/VPN 服務存取共構內 1 台主機)	0.5	< 0.05
主機負載平衡服務(對 2 台主機)	1	< 0.05
主機監控服務(監控 1 台主機)	3	< 1
網路監控服務(監控 1 台設備)	3	< 1
入侵偵測服務(對共構內 1 個網段)	0.5	< 0.05

資料來源：政府 e 機關維運月報表 99 年 1 月~5 月及本研究整理

與現行維運機制更大的差異在於本研究機制是多工的，亦即現行維運機制下，若多項服務同時被申請時，耗時幾乎是累加的(如同時各申請一台虛擬主機及儲存設備，總耗時幾乎會等於 10 小時)；以本研究機制而言，對於同一服務申請需求中所關聯到的所有設備，或是同時收受到不同之申請需求時，若不致造成目的設備重疊性，或於技術上可排序執行者，仍可同時進行佈署，理論上無論同時進行多少服務佈署，總耗時將等於所申請的服務類別中耗時最長者(如同時申請虛擬主機及儲存設備各一台及防火牆規則 20 條，總耗時將是 0.25 小時)。現行維運機制幾乎得完成一台設備(服務類別)後再進行下一設備，在同一服務申請中導致需較大規模的佈署時，本研究機制與現行機制將具有相當大的時效差異，而這也決定了服務需求者需等待多久方可得到已設定完成且可用的服務。

另外，本研究機制既然與各流程緊密結合，故極適合成為共構機房維運之標準流程介面，透過本研究機制對各流程的自動遵循及資料傳遞，表單內依循標準而必須填註之欄位(包括申請者、共構承辦單位、維運管理組等人需填寫之欄位)因系統皆可自服務申請初期時即帶入並掌握資訊，故後續相關流程涉及之重覆欄位或關聯欄位資訊幾乎可由本機制主動填入，最理想之情況為關鍵人員僅需於各流程中審認欄位的正確性並執行電子簽署，或額外填入必要之備註即可。如此可優化流程進行的效率及減少繁雜的人工作業。

六、結論

共構機房因應政府組織改造及資訊改造後，可預期於未來幾年將是公家單位資訊資源整合的重要應用項目之一，當下相關部會亦陸續對機房共構進行相關評估與規劃。本研究針對共構機房之維運管理設計一統合且機動之維運管理模型，期望大幅縮減共構機房為提供客制可用資訊環境時所須耗用的漫長變更過程與繁雜的人工設定過程，並藉由自動化的資源再蒐集隨時保持整體共構機房現行資源之可透視性，同時確保機制的使用是符合一致性、適用性和程序性並達資訊安全條件的滿足。

在高度提倡綠色節能的今日，資源的有效整合與有效利用亦是如何響應綠色節能的關鍵，資訊產業的未來將朝向更高度的資源整合，故與共構機房概念相呼應的相關優化與效益化的機制被期待與研究，而在此概念下的大型整合資源勢必須有高度之自動化且依循國際標準的系統來支持與確保管理的有效性，本研究以 ISO 20000 為藍圖並以 ISO 27001 來約束機制的安全性，除提供共構機房有效的自動化統合管理機制、資源可用性檢視及營運容量趨勢預測外，亦依循國際性標準來滿足流程管理的可靠性和盡可能的風險排除。

參考文獻

[1] 檔管局(2009)，機房委外共構之可行性分析報告[線上資料]，來源http://wiki.archives.gov.tw/index.php?option = com_contenent&view = article&id = 780&Itemid = 107。

[2] 行政院研考會(2009)，資訊改造核心工作圈策略發展[線上資料]，來源http://www.rdec.gov.tw/ct.asp?xItem=4158663&ctNode=12065&mp=100。

[3] 行政院研考會(2010)，行政院暨所屬委員會共構機房經營維運服務資訊網[線上資料]，來源http://sdc.rdec.gov.tw/。

[4] 資策會(2008)，ITIL/ISO 20000課程主題館[線上資料]，來源http://www.iiiedu.org.tw/ites/portal/ ITIL_Series07.htm。

華岡工程學報第 28 期 民國一百年六月 中國文化大學工學院
Hwa Kang Journal of Engineering, Chinese Culture University 28 (2011) 28-35

運用雲端運算技術於 iPhone 裝置之多人互動遊戲開發與實作

施啟煌、林佩蓉*、蔡孟庭
弘光科技大學資訊工程系
*Email: pjlin@sunrise.hk.edu.tw

摘要

本論文旨在於應用 Google App Engine (GAE) 平台設計一基於雲端運算(Cloud Computing)技術之系統，並實際運用於 iPhone 智慧型手機的遊戲開發。透過 Java 的開發工具和標準 API，我們發展出一個建立在雲端運算平台的架構能夠達成 GAE 與 iPhone 的連結。在此系統中，用戶端的 iPhone 執行指令輸入和顯示結果，並且利用網路傳值到 GAE 在雲端上進行資料運算與存取的動作。最後，本研究亦實作出一套多人互動的雲端遊戲程式，以展現採用此架構開發雲端服務的可行性。

關鍵詞：雲端運算、Google App Engine (GAE)、智慧型手機、多人互動遊戲

Design and Implementation of a Cloud Computing-based Multi-player Game on iPhone Devices

Chi-Huang Shih, Pei-Jung Lin*, Meng-Ting Tasi
Department of Computer Science and Information Engineering,
Hong Kuang University, Taichung, Taiwan

Abstract

With the wide network deployment, Cloud computing becomes emerging by utilizing the distributed data storage and computing to achieve both lower cost and higher data processing power. The purpose of this paper is to study a practical architecture for diverse cloud computing applications based on Google App Engine (GAE). This studied architecture adopts the Java development kit and standard API to launch GAE cloud computing applications on the iPhone devices. In the GAE/iPhone system, the iPhone client transmits the control commands to GAE through networks and presents the returning results, while the data access and computing are done in the remote GAE platform. In this paper, a multi-player game is implemented based on the proposed GAE/iPhone system to evaluate the system feasibility.

Keywords：Cloud Computing、Google App Engine (GAE)、Smart Phone、Multi-player Game

一、 前言

在這個資訊發達的時代裡，個人電腦、網際網路與智慧型手機等迅速普及以來，資訊科技對於人類日常生活及工作各方面的影響無遠弗屆，相對地對於資料處理速度和數量也有越來越高的需求。在電腦與網路上，傳統存取資料的方式都是在主機端裡進行讀寫的動作，一旦資料或是連線數量龐大，就會影響處理的速度。對於企業或個人使用者而言，隨著科技的腳步與市場需求更新電腦設備或是高頻寬的網路，意味著要不斷地增加購置成本，因此低價位成本和高速度如此看似矛盾的需求造就了近年所興起的雲端運算(Cloud Computing)技術 [10]。在雲端運算的概念裡，所有的資料處理都轉換爲網路計算的方式，利用網路將許多電腦連結成群來分散資料儲存與處理的工作，只要電腦群體足夠大便可有效率地提供龐大資料處理的能力，因此可以大幅減少企業建置網路服務的成本；另一方面，使用者可以不再擔心電腦處理能力與軟體的相適度，只需要具備一般處理能力的電腦設備和足夠的網路頻寬便可以透過網路享受雲端服務。由於應用程式是以網路爲基礎，使用者每次使用雲端服務時，都會得到最新的版本，而無須執行額外的下載、安裝、升級等動作，也間接抑制了破解軟體和盜版的成長。因此，藉由雲端運算處理低安全性卻高流量的資料可說是最佳選擇。

雲端運算提供了三種不同型態的服務(參見圖1)：軟體即服務(software as a service; SaaS)、平台即服務(platform as a service; PaaS)、基礎設施即服務(infrastructure as a service; IaaS)。軟體即服務意指使用者以瀏覽器等工具存取位於雲端的應用程式，例如 Google 的線上應用(Google Apps)以及趨勢科技的雲端防毒等。平台即服務指的是提供作業運算平台及程式開發平台，此項服務仰賴雲端的基礎設施，可支援多樣化的雲端應用，例如 Google 的 Google App Engine (GAE)與 Microsoft 的 Azure 等。基礎設施即服務則是指雲端基礎架構，也就是將運算、儲存及網路等硬體設備資源轉化爲標準化服務，以提供使用者租用，例如 Amazon 的 EC2 等等。在雲端運算的階層架構中，IaaS 提供基礎設施服務，PaaS 基於基礎設施服務提供應用程式的開發平台，而 SaaS 則在應用平台的支援下提供各類的雲端應用。使用者依據不同層級的需求，可以直接使用應用程式服務，也可以租用平台服務或是基礎設施服務。除此之外，雲端系統的建置還可分爲公有與私有兩類：公有雲端系統是由服務供應商負責建置所有資源，透過租用的程序，企業可在其上提供雲端服務給外部使用者；而私有雲端系統則是由企業自行組裝建構所需資源與服務，除了在資源的使用上有較高的自由度之外也具備高安全性。

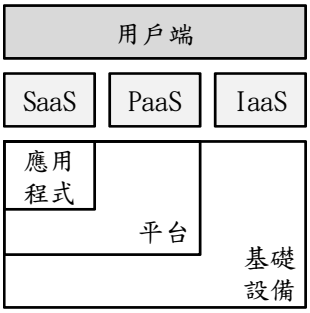


圖 1 雲端階層架構

本研究以公有雲端系統的雲端運算平台爲基礎，在行動裝置中實作雲端的應用服務。目前智慧型手機除了撥打電話之外，亦具備數位通訊與生活娛樂的多元化功能[5,8,12]。目前智慧型手機的應用程式多屬於下載軟體到用戶端執行的服務類型 [9,11]。爲了實現雲端運算在智慧型手機的應用程式，本論文運用了 Google 的 Google App Engine 雲端技術 [6,7]，結合了熱門的智慧型手機 iPhone 來突顯雲端跨平台的特性 [1]。透過 Java 的網路開發工具和 API 標準，結合 GAE 的資料庫系統開發一個整合雲端運算技術的函式庫與架構，以便能在智慧型手機上進行後端的資料管理以及存取應用程式資料 [3]。利用此開發架構，我們透過 Google 雲端平台處理應用程式的資料，實作一套可在 iPhone 上運作的雲端遊戲－兩人三腳，並以多人互動的遊戲模式來驗證雲端運算於行動裝置系統架構的可行性。此遊戲開發利用無線網路傳值到雲端來執行儲存與運算的動作，最後將結果顯示於手機端上，來達到雲端運算的概念。在遊戲過程中會有綁鞋帶機制以及跌倒停滯的機制

來考驗遊戲使用者間的配合度和默契。最後利用遊戲同步率的高低呈現排行榜。

本論文接下來在第二節將介紹 GAE 和 iPhone 的系統以及開發應用程式的相關工具，第三節描述實作雲端應用程式的系統架構，然後第四節呈現系統功能並且展示實作成果，最後是本論文的結論與未來展望。

二、 背景知識

本章針對 Google 的 GAE 雲端平台以及 iPhone 智慧型手機兩者的系統與軟體開發技術作一簡述。

（一）Google App Engine

Google App Engine 是一個具有雲端運算能力以進行開發與管理網路應用程式的商業平台。在雲端計算的架構裡，GAE 屬於 PaaS 平台即服務的類型，因此 1) 使用者只需專注於網路應用服務的發展，不需要維護伺服器等硬體設備與設置系統平台，只需上傳應用程式，即可立即使用資源服務；2) GAE 可以跨越多個運算端點和數據中心來虛擬化應用程式，並可根據訪問量和數據儲存需要的增長而擴展使用資源。在計費上，GAE 依照資源的使用量分成固定配額與計費配額，在固定配額方面，用戶端使用一定額度內的資源是免費的，而支付額外的費用可以獲得更多的儲存空間、網路頻寬或是 CPU 負載等等。依據此種分級收費的機制，企業或個人可以擁有一定的獲利並藉由有效設定預算而能完善的使用 GAE 的功能。

GAE 是由 Google 自行研發的三大核心技術組成：Google File System (GFS)、MapReduce 和 Big table 所組成。概略來說，MapReduce 會將資料做正規化的動作並拆解成數份，GFS 將此數筆簡化的動作分派給大量的電腦去做處理，各電腦再依需求去 Big table 裡存取資料，最後由 MapReduce 整合後傳回。由於雲端應用服務的資料數可能極為大量，因此 Big table 的作用即在支援存取範圍跨越數千台機器的 petabytes (PB)等級資料量的運作；另外，Big table 並不使用一般較常見的關聯式資料庫來操作資料存取，如同 Amazon 的 SimpleDB 一樣，Big table 採用非關聯式資料庫的模式以利於使用者快速建立並且易於擴充應用程式。儘管管理資料庫的模式不同，GAE 仍然提供了 CRUD (create, read, update, delete)的資料庫方法，這些方法可以透過標準的介面如 Java data Object (JDO)以及 Java Persistence API (JPA)來下達指令。JDO 是一種標準介面，可將內含資料的物件儲存至資料庫。這個標準所定義的介面可用於註解 Java 物件、使用查詢擷取物件，以及透過交易與資料庫互動。使用 JDO 介面的應用程式不需要任何資料庫專用的程式碼，即可搭配不同種類的資料庫，包括關聯式資料庫、階層式資料庫和物件資料庫，並且在存取資料時使用跟 SQL 語法很相近的語言-稱為 JDOQL，因此一般說來，JDO 具有易用性、可移植性、高整合性等特點，也是在 GAE 發展應用服務常見的開發工具。除此之外，在 GAE 上開發應用的程式語言包含了 Java 與 Python，同時可搭配撰寫網頁的大部分環境如 HTML、JavaScript 等等。

（二）iPhone

蘋果 iPhone 是一部 4 頻段的 GSM (Global System for Mobile Communications; 全球行動通訊系統)智慧型手機，支援 Bluetooth 和 802.11b/g 無線上網，主要特色是整合了行動電話、網際網路服務、多媒體播放器、數位相機、GPS (Global Positioning System; 全球定位系統) 、電子羅盤等多種功能於單一手持裝置中。最值得一提的人機介面，iPhone 沒有鍵盤，而是創新地引入了 Multi-touch 多點式觸控螢幕，可以藉由一或多個同步的螢幕碰觸的手勢操作(gestures)控制行動裝置，在操作性上與其他品牌的手機相比佔有領先地位。憑藉著眾多功能夾帶的應用程式以及多點式觸控螢幕的雙重優勢，根據國際數據資料 IDC 中心在 2011 年第一季公布的統計資料顯示 iPhone 的全球市占率已來到第二名的 18.7% [13]；此外與 iPhone 有關的應用程式下載量已達一百億之多。這些數字間接說明了市場對於 iPhone 的關注程度。

iPhone 的應用程式開發主要由 Xcode 的整合環境所提供 [14]。Xcode 是 Apple 公司官方的軟體開發工具，就如同 Visual Studio 一般，包含有整合式開發編輯器(Xcode IDE)、視覺化使用者介面開發工具(Interface Builder)、compiler、linker、debugger、iPhone 的模擬器，以及各種函式庫/類別庫與 API。此外，Xcode 並支援多種不同的程式語言，包括 Java、C、C++、Python 和 Objectice C，但是這數種語言中只有 Objective C 能夠用於 iPhone 的程式開發。Objective C 的設計目的是爲 C 語言增加物件導向編程的能力，其最大的特色是使用訊息傳遞(message passing)模型 [15]。在 Objective C 裡，物件不呼叫方法，而是互相傳遞訊息，這與 C++物件導向語言的風格差異甚大。此二種風格的差異主要在於程式設計者如何看待呼叫方法/傳送訊息的動作有關。C++裡類別與方法的關係非常嚴格，一個方法必定屬於一個類別，且於編譯期就已經緊密結合在一起，因此程式設計者無法呼叫一個不存在類別裡的方法。但在 Objective C，類別與訊息的關係較爲鬆散，所有方法都被視爲對訊息的回應，而呼叫方法則視爲對類別發送訊息，而所有訊息處理直到執行期(runtime)才會動態決定，並交由類別自行決定如何處理收到的訊息。此外，開發 iPhone 應用程式的工具還包括 iPhone SDK [4]。如圖 2，iPhone SDK 爲四層的架構，此四層分別是 Cocoa Touch、Media、Core Services 以及 Core OS，以下列出各層的功能：

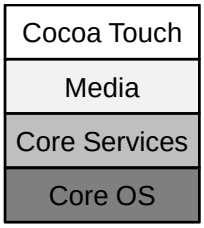


圖 2 iPhone SDK 架構

- 觸控 (Cocoa Touch): 基於事件驅動之圖形化應用程式的框架，例如多點觸控事件和控制(Multi-touch events and controls)。
- 媒體 (Media): 增加影音、圖形與動畫功能的框架，例如混音及錄音(Audio mixing and recording)及視頻播放。
- 核心服務 (Core Services): 存取 iPhone 作業系統和新服務的框架，例如網路及地理位置。
- OS 核心 (Core OS): iPhone 作業系統的核心功能，例如 TCP/IP 協議及電源管理。

表 1 整理了在 GAE 的基礎上開發 iPhone 應用程式的環境與工具。在 GAE 這部分是使用 eclipse 爲開發環境並利用了 JDO、Java Server Pages (JSP)等工具，而在 iPhone 則是使用了 X-Code 爲開發環境並以 Objective C 與 iPhone SDK 爲應用程式開發工具。

三、 系統架構

在本系統中，使用者可以利用 iPhone 與 GAE 雲端服務進行溝通，然後 GAE 雲端服務會利用網址帶參數的方式由 JDO 去存取資料，再將對應資料表的內容回傳給 iPhone。

表 1 是本論文所採用的開發環境和工具，在資料庫存取的工具中，因爲 JDO 在 GAE 的文件資料較爲充足，所以選擇 JDO 作爲儲存資料庫的儲標準。圖 3 爲 GAE 開發系統的架構圖。基於此開發系統的架構，應用程式的執行流程如下：

表 1. 開發環境與應用工具

GAE	開發環境	eclipse
	工具	GAE SDK
		Java Development Kit
		Java Data Object
		Java Persistence API
		Java Server Pages
	開發環	Xcode

(1) 藉由智慧型手機將使用者輸入的訊息加入 URL 之中，接著連結系統網站。
(2) GAE 會依照開發者設定的內容，將使用者傳遞

的 URL 網址對應到程式中各個類別(Class)裡面。

(3) 解析使用者傳遞過來的參數，進行對應的動作(例如：返回特定的數值或字串，或者是對資料庫進行更新)。

若有設定回傳值，智慧型手機會設定連結，嘗試讀取資料，獲得資料後再將對應的結果顯示於使用者端。

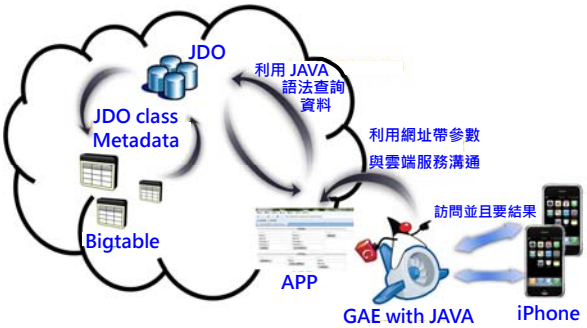


圖 3 GAE 與 iPhone 架構圖

在 GAE 技術中，對資料庫建立、存取的方式，與一般關聯性資料庫不太一樣。在分散式的資料庫架構裡，每筆資料像是儲存在一張很大的表格，在資料數量龐大的情況下，都能正常操作。而資料庫的建立方式也有所不同，開發者並不需要特別去設計資料庫的架構。而直接用程式語言的類別去設計資料庫。除了 Java 原生的類別之外，GAE 也有額外的類別來存放特殊的資料(User、Blog、Key 等)。因爲是使用 Big table 的架構，資料很可能是分佈在不同的電腦之上，在執行 join 指令時會耗費很多資源，因此 GAE 並不支援 join 指令。在 GAE 裡面要處理資料，副檔名.java 的檔案大致上可以分成二種功能：

(1) 定義資料類別：負責設定資料的形態，取得和接收的方法。

(2) 建立、取得、刪除資料：實作時會包含查詢、索引和交易的功能。

另外，還需要額外宣告 jdoconfig.xml，此檔表示進行 JDO 資料持久化時可對該檔進行設定，但如果用 eclipse 會自動生成。而檔案 Web.xml 爲網路應用程式部署描述元設定檔，用以判斷要呼叫的 Servlet 類別。至此，本系統大部份的架構就介紹完成，下一步說明本系統中各主要程式檔案的運作功能：

(1) Data.java：在本系統中扮演著資料庫的角色，裡面的架構是以 JavaBeans 的類別來構成，而構成元素至少一定會有一個變數、一個取得的方法、和一個接收的方法，所以在裡面需設定一些要儲存的變數，而和一般的 JavaBeans 不同的地方在於，會多一個寫入資料的方法。

(2) Servlet.java：爲負責新增資料的程式，在接收客戶端傳回來的資訊後，解析並交由伺服端處理並輸出結果。

(3) Web.xml：負責網址與 java 類別的連結設定。

(4) Index.jsp：負責扮演傳送、顯示資料的角色。

(5) Updata.java：負責修改已存在資料的類別，裡面一樣包含了伺服端的副程式。在接收了客戶端傳回來的資訊後，查詢是否有此筆資料，如果有的話，則會開啓交易的功能，把資料做更新的動作。

(6) Delete.java：此爲刪除某資料表的功能，只需要提供要刪除的資料表資訊(前提該資訊在資料表中是唯一、不重複的)，或者是該資料的 id 值，就可以刪除該筆資料。

在本系統中，修改、刪除資料表需要用到交易和查詢，核對該筆資料是否爲被選取的資料，而在實作的過程中發現到一個問題，有時多筆資料的內容，會有部分或完全相同的可能，造成單純靠比值查詢修改會有漏洞。爲了避免此情形，得直接利用 id 單一鍵值來搜尋，如此可以避免掉此問題。以下介紹本系統功能及實作之成果。

四、 系統功能介紹與實作成果

本系統的流程主要分成四個部份，依照遊戲進行順序依次爲建立遊戲的房間機制、遊戲前用以培養默契的綁鞋帶機制、遊戲進行中的步伐計算機制、以及遊戲結束後的排行榜機制。房間機制主要是讓使用者可以起始一個新遊戲，創造房間成功後的房間名稱能夠讓另一位使用者選擇該房間名稱加入遊戲，而開啓遊戲的使用者也可以將房間刪除或是修改房間資料；綁鞋帶機制以觸控點擊的方式讓遊戲者熟悉接下來遊戲進行時的觸控介面並可事先培養雙方的默契度；遊戲中的步伐計算機制則是利用兩

隻手指在螢幕上滑動的動作來仿效兩人三腳的遊戲，步伐同步時代表前進，而步伐不同步時則會產生跌倒的情境；排行榜機制則是在遊戲結束後憑藉步伐計算的同步率來進行排行。接下來將以 iPhone 的畫面來說明各系統功能的內容以及實作成果。

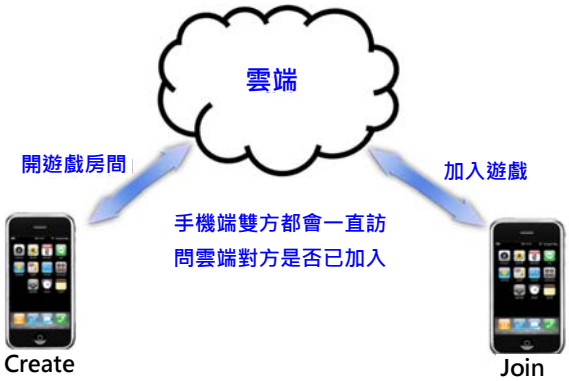
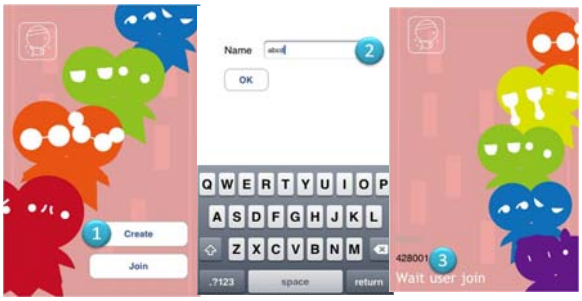


圖 4 遊戲房間機制示意圖

- 房間機制：圖 4 爲本系統建立遊戲房間機制的示意圖。首先，由左邊 iPhone(Create)先建立遊戲房間。此時，透過網路將使用者的個人資料以及遊戲房間的 KEY 值傳送到雲端，再經由雲端的後台程式將資料寫入資料表。並且完成創造遊戲房間的程序。然後右邊 iPhone(join)一樣透過網路傳送個資，以及輸入的遊戲房間的 KEY 值，經由雲端後台程式比對遊戲房間 KEY 值完成加房動作。中間過程中，使用者會一直連結至雲端，直到雙方都進入遊戲中爲止。



(a) (b) (c)

圖 5 房間機制實作成果圖 (建立遊戲房間)

圖 5 爲房間機制實作成果圖(建立遊戲房間)。圖 5(a)爲使用者建立遊戲房間，點下 Create 後就會跳到輸入資料畫面圖 5(b)。當使用者輸入 Name 之後，點下 OK 就會進入等待其他使用者加入的畫面如圖 5(c)，此畫面會顯示 Room Key，其它使用者輸入此 Key 就可以加入此房間。圖 6 爲房間機制實作成果圖(加入遊戲)。在圖 6(a)中，使用者點選 Join 後會進入資料輸入畫面。如圖 6(b)，當使用者輸入 Name，以及要加入遊戲房間的 Room Key 後，就可以如圖 6(c)所示進入等待遊戲的畫面。

(a) (b) (c)

圖 6 房間機制實作成果圖 (加入遊戲)

圖 7 綁鞋帶機制示意圖

- 綁鞋帶機制：

圖 7 爲綁鞋帶機制示意圖，此機制爲玩家之間的默契度配合。當遊戲進行時，此綁鞋帶值就是雙方的默契度配合度評估，達到彼此間的互動。此機制是由 iPhone 中的程式去讀取雙方觸控 bar 的位置，經由網路傳送至雲端後台，在由程式計算出彼此默契度後寫入資料表，雙方在經由網路取回數值之後開始執行遊戲。

(a) (b) (c)

圖 8 綁鞋帶機制實作成果圖

圖 8 爲玩家綁鞋帶機制實作成果圖。圖 8(a)當中，玩家雙方都需要在螢幕上點擊，用來控制起跑點的落點位置。在雙方其中一人點擊螢幕後，另一個玩家也會在螢幕上看到對方點擊的位置，如圖 8(b)所示。以提示玩家靠近該落點位置，如果兩者都完成綁鞋帶的動作，則會開始進入倒數的畫面，如圖 8(c)。當倒數計時完畢後，遊戲即開始。

- 遊戲中機制：圖 9 爲遊戲進行時的機制示意圖，主要藉由滑動 iPhone 左螢幕(以 0 爲索引值)、右螢幕(以 1 爲索引值)的方式，來達到兩人三腳的效果。同樣藉由網路把 iPhone 的值傳送到雲端，經由後台程式判斷是否有在前進與默契值，再由網路取得計算結果，使畫面顯示前進或同步時跌倒的圖片。

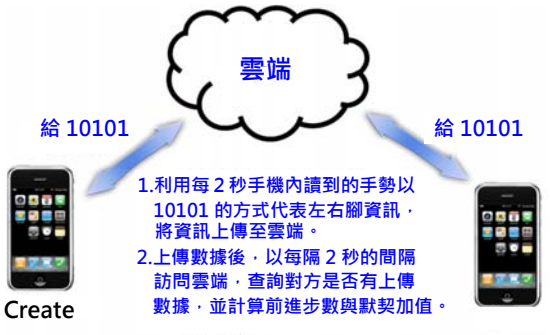


圖 9 遊戲中機制示意圖

(a) (b)

圖 10 遊戲中畫面與遊戲中跌倒畫面

圖 10 爲遊戲中畫面與遊戲中跌倒的畫面。在圖 10(a)的狀態顯示圖(1)，主要是顯示遊戲進行狀況。如果默契度低於一定的值，狀態圖就會從跑步狀態變成跌倒。圖 10(a)中的時速表(2)，用以顯示目前玩家的速度，當右上角的方塊圖示越靠近紅色的區域表示速度越快。若玩家成功跨出的步數越多則越快到達終點站。而跌倒超過一定的次數時，有機率會出現摔跤圖，如圖 10(b)。摔跤的時候秒數會自動增加 5 秒。圖 10(a)中的剩餘公尺提醒(3)顯示該關卡的剩餘公尺，低於 0 或等於 0 時會結束整個遊戲。圖 10(a)中的操作區域(4)爲玩家利用手指在道路的左邊和右邊相互滑動，模擬出跑步的動作，來進行遊戲。

- 排行榜機制：圖 12 爲此遊戲結束時的機制，當遊戲公尺數低於 0 或等於 0 時，會跳至結束的畫面，此時 iPhone 程式會透過網路，將目前遊戲房間內玩家的資料傳送給雲端儲存。待雲端的程式排出名次之後，iPhone 程式會顯示出此回合排行榜的畫面。並且回傳從雲端取得的名次資料。

圖 11 排行榜解說示意圖

(a) (b) (c)

圖 12 排行榜實作成果圖

圖 12 爲排行榜實作成果圖。在圖 12(a)當中，若遊戲公尺數低於 0 或等於 0 時，手機畫面

會跳到終點的動畫，如圖 12(b)。此時 iPhone 程式會將目前玩家的遊戲資料傳送到雲端儲存。一直等到雲端算出排名後，才跳到排行榜的畫面顯示，如圖 12(c)所示。

五、 結論與未來展望

本研究應用 Google App Engine 平台設計一基於雲端運算技術之系統，並實際運用於 iPhone 智慧型手機的遊戲開發。此架構可作爲開發雲端應用程式的核心引擎，藉由資料交換以及資料的存取，外部可以掛載相當多樣化的應用，不論是地理位置服務 (Location-Based Service; LBS)，或者是時下最受歡迎的社群網站，都可以藉由這樣的核心來嵌入在智慧型手機平台上。本論文的實作成果已具體展現出智慧型手機與雲端運算服務連結的效果，未來亦將繼續整合行動裝置之附加功能，並研究雲端程式之運算效能。

六、 誌謝

本論文爲產學協力研究之成果，感謝巨鷗科技公司的支援使本研究得以順利進行，特此致上感謝之意。

參考文獻

[1] B. G. Chun and P. Maniatis, “Augmented Smartphone Applications Through Clone Cloud Execution,” *Proceedings of the 12th Workshop on Hot Topics in Operating Systems*, May 18-20 (2009).

[2] F. Alagoez, A. C. Valdez,W. Wilkowska, M. Ziefle, S. Dorner, A. Holzinger, “A From Cloud Computing to Mobile Internet, From User Focus to Culture and Hedonism-The Crucible of Mobile Health Care and Wellness Application,” *Proceedings of the IEEE International Conference on Pervasive Computer Applications 2010* (ICPCA 2010), December 1-3 (2010).

[3] R. Kemp, N. Palmer, T. Kielmann, and H. Bal, “The Smartphone and the Cloud: Power to the User,” *Proceedings of the International Workshop on Mobile Computing and Clouds* (*MobiCloud 2010*), October 28 (2010).

[4] Raffel &Kikulu 著，“iPhone SDK 3 Programming 應用程式開發”，博碩文化股份有限公司(2009).

[5] XMobileAppiPhone 著，“iPhone 創意開發入門與實作”，佳魁資訊股份有限公司(2010).

[6] Google 應用服務引擎，http://code.google.com/intl/zh-TW/appengine/docs/whatisgoogleappengine.html

[7] 李浩維，「雲端運算與服務的研究與應用以「Google App Engine」爲例」，嶺東科技大學數位媒體設計研究所，碩士論文(2009).

[8] 姜智尹，「多維度情境感知資訊擷取在手持裝置上的應用:iPhone 爲例」，國立臺灣師範大學資訊工程研究所，碩士論文(2009).

[9] 梁志雄、石書諭、曾建勳、葉碩強，「iPhone 行動嚴肅遊戲研發--以 24 笑推廣品德教育手機遊戲爲例」，2010 年電腦與網路科技在教育上的應用研討會(2010).

[10] Cloud Computing, Wikipedia, http://en.wikipedia.org/wiki/Cloud_computing

[11] 楊蘭詞，「智慧型手機遊戲研發策略之研究」，國立臺北教育大學數位科技設計學系，碩士論文(2010).

[12] 鍾哲民，「加速度動作辨識系統之研究及應用」，國立成功大學工程科學研究所，碩士論文(2008).

[13] IDC: Apple has 18.7% of worldwide smartphone market,http://www.macnews.com/2011/05/05/idc-apple-has-187-worldwide-smartphone-market

[14] Apple Developer Technologies - Xcode IDE, http://developer.apple.com/technologies/tools/features.html

[15] Steve G. Kochan, “Programming in Objective-C”, Addison-Wesley Professional (2011).

華岡工程學報第 28 期 民國一百年六月 中國文化大學工學院
Hwa Kang Journal of Engineering, Chinese Culture University 28 (2011) 36-42

以類神經網路在小型巡防艇建模之應用

張文義*、俞克維
國立高雄海洋科技大學輪機工程系
* pauleve@seed.net.tw

摘要

本研究利用類神經網路建立小型巡防艇在海上航行的運動類型，模型中包含滾轉、俯仰、偏航三個旋轉角度的船舶運動姿態。藉由量測實際的巡防艇航行於海上受到海浪之影響所產生的各種船體運動情況的數據資料，並利用時間序列以及類神經網路進行建模與測試，提供航海模擬機重現船舶在海上運動的基礎模型。經由實際海上實驗所獲得的資料與本文提出的類神經網路運動模型進行比較後發現，本文所提出的類神經網路模型具有相當高的精確度，可以正確預測船舶在波浪中運動的姿態變化狀態。綜合本研究所得到之成果可以提供新進航海人員熟悉、瞭解並及早適應船舶在海上航行的運動模式與感受。藉以提高航海人員對於暈船的適應能力。
關鍵詞：類神經網路、時間序列、船舶運動、建模

The Application of Small Coast Guard Vessel Modeling by Using Neural Network

W. Y. Chang*、K. W. Yu
Department of Marine Engineering, National Kaohsiung Marine University

Abstract

In this study, the neural model of small patrol boat is investigated. The model contains three rotate motions, namely, roll, pitch and yaw, respectively. The dynamic data of those patrol vessels are measured and arranged via time series under real situation in sea trail. The reconstructed neural model can be used to represent the approximate dynamic by using ship handling simulation. The original sea trial data and the trained neural model seem identical in trend. Based on this research results, the trained neural model of patrol vessel used to be a training tool for new seafarers.
Keywords：Artificial Neural Networks, time series, ship motions, make a new model.

一、前言

船艇在海上航行都會受到各種海象的影響，包括風向、海流、海浪等，而出現前後(Surge)、升降(Heave)、縱搖(Pitch)、側向(Sway)、橫搖(Roll)、偏航(Yaw)）等六個自由度運動，此種運動

會隨著船艇的材質、船型結構、吃水深度、航行速度、載重量及行駛的動向、海浪等之相互作用而形成船體在海上運動的各種姿態[1]。然而，並非每一位從事航海的人員都可以很容易的適應船舶在海上航行的搖晃，而船舶航行於海上的運動又是最直接影響船員的身心感受，本文作者從事海上生活逾十年之久，深知暈船對於新進船員的影響十分重大，爲了讓航海人員能夠及早適應船舶在海上之運動，因此本研究使用小型巡防艇作爲標的，並在巡防艇上裝設陀螺儀用以實際量測在海上航行運動時呈現的晃動情況與姿態，以作爲航海模擬機重現船舶運動的原始資料，提供航海人員於海上航行之職前訓練。類神經網路[2-5]在理論的建立與模式的開發有了很大突破，處理預測與建模方面的問題已經有非常多成功的案例[6]，尤以倒傳遞類神經網路是學習模式中最具有代表性。由於類神經網路具有處理良好學習能力及強大運算能力在許多應用中已經有諸多成功的案例。本研究利用小型之 20 噸、30 噸、100 噸等級巡防艇，分別在海上航行運動時實際量測波浪的訊號，並將量測完成的訊號分別進行類神經網路建模，以訓練完成的類神經網路模型預測船舶在波浪中的運動型態，提供航海模擬機重現船舶運動的基礎。

二、類神經網路架構

人工神經元模型可分爲以下幾個部份：權重值、偏權值、累加器、轉換函數，如圖 1。權重值相當於生物神經元中的神經節強度，偏權值可以將它視爲是一項權重值或是將它當作是一個接受刺激的標準，累加器在人工神經元中的主要功能是將輸入層神經元所傳遞來的訊號加總起來，而處理單元在人工神經元中所扮演的角色是將累加器的訊號轉換成非線性函數的訊號。

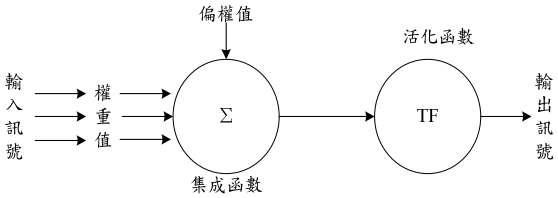


圖 1、人工神經元組成

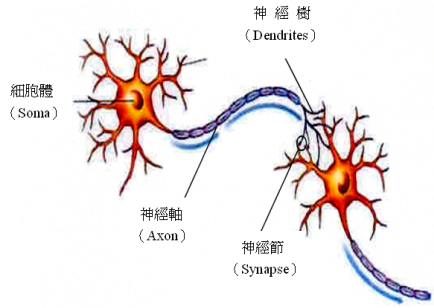


圖 2、生物神經元組成

由圖 2 生物神經元組成可分爲以下幾個部份：細胞體(soma)、神經樹(dendrites)、神經軸(axon)、神經節(synapse)幾個部份，神經樹是整個生物神經系統中最茂密的部份，它是由細胞體向外延伸的樹狀架構，其主要功能是將細胞體所輸出訊號傳送給其它神經元。神經節就是神經軸與神經樹連結的機構。

生物神經元一開始會經由神經節與神經樹從其它的神經元傳遞脈波訊號，經過神經核的處理，進而產生一個新的訊號，而這個訊號會沿著神經軸將訊號傳遞至神經樹，再透過神經節與神經樹傳遞訊號給周圍的神經元。脈波訊號的產生是因爲當外來的刺激高於波浪值的時候，便會產生神經脈波訊號，並將這樣的訊號傳送給其它接受到刺激的神經元。剛才所談到的波浪值在生物神經模型中並沒有出現波浪值這個項目，原因是吾人將波浪值視爲是一個標準，每個人接受刺激的程度不同，所以波浪值也會跟著不同。

三、倒傳遞演算法

倒傳遞網路(Back-Propagation Networks, BPN)[7]又被稱爲多層感知機，倒傳遞網路也是最常被拿來訓練的類神經網路之一。多層的架構是加強處理非線性的問題，它所使用的學習方式爲監督式學習(supervised learning)如圖3所示，

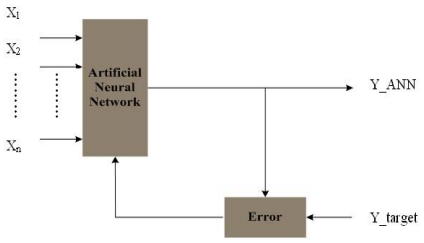


圖3、監督式學習網路

監督式學習是透過目標向量 Y_traget 與網路輸出向量 Y_ANN 之間的誤差訊號調整權重值 w，將更新(學習)完的權重值 w 傳回網路計算。倒傳遞網路的學習方式包含了前饋階段與倒傳遞階段，前饋階段必須要將訊號一一的輸入，並在輸出層計算出網路的輸出值。當前饋階段完成後，接下來就是倒傳遞階段了，倒傳遞階段必須根據剛才的錯誤做修正（學習）而更新的參數就是權重值 w 與偏權值 θ。構成網路的基本元件是神經元(Neural)，倒傳遞網路有利於分散式的處理還有具備平行計算的能力，平行計算是指各個神經元能夠同時間進行訊號的處理，簡單的說就是它具備大量處理的能力。倒傳遞網路可分為兩個階段，第一階段是學習，學習的目的是在找出較適合的權重值 w 與偏權值 θ 的參數。第二階段是測試(回想)階段，測試的目的就是將已學習完成 w 與 θ 的參數固定不變再與測試用的輸入訊號執行一次網路計算。倒傳遞網路就是典型的多層前饋式網路，多層前饋式網路它具有一層或一層以上的隱藏層，它的運算原理及修正原理從圖 4 可以很容易的了解。

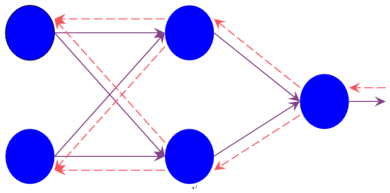


圖4、倒傳遞網路的修正路線

隱藏層的設定也會影響輸出的結果，隱藏層的設定又可分為層數的設定以及神經元個數，隱藏層層數的設定並不會因為越多層或是神經元越多就越精確。「層」(layer)[8]的設定通常會先用一層的隱藏層計算，如果推論出來的效果沒預期中的好才會增加至兩層或是三層，隱藏層如果設為一層則計算的速度相對的一定比兩層或是兩層以上快，若是給予類神經網路學習的問題太過於複雜，則一層隱藏層可能要增加為兩層或是兩層以上的隱藏層，輸入了幾層隱藏層會大幅降低網路的計算的速度，如果隱藏層設置太多層的話讓網路變的很沒效率，有可能造成更多的局部最小值，無法收斂。神經元的數目增加相對的也能夠降低誤差，可是執行速度也會降低。神經元的個數需要依問題的難易度增加或減少，神經元的增加或減少也是會影響計算的輸出值及所需的時間。倒傳遞網路多了隱藏層，所以它能夠將非線性的問題處理的很好。

圖四中實線的部份：前饋階段，簡單的說就是第一次的運算，是由輸入層往隱藏層再到輸出層。虛線的部份：倒傳遞階段，描述網路學習時的修正路線，它與前饋階段正好相反。它是從輸出層往隱藏層修正，再從隱藏層往輸入層修正，而修正的參數有權重值還有偏權值。

四、巡防艇海上航行運動量測

巡防艇在海上航行肯定會受到海象、風浪的影響而產生 Roll、Pitch、Yaw 三個角度如圖 5 所示，本研究係利用三艘不同噸位巡防艇，就針對以上所談的這三個角度利用陀螺儀進行巡防艇海上實際航行運動訊號量測。量測到的訊號是依巡防艇在大海中航行時以不同的船速與受到不同的海象及風浪等，所產生的橫搖、縱搖、偏航角度訊號，其訊號取樣時間為 0.01 秒，各別船速量測時間為 98 秒，各別船速下量測之資料筆數為 9800 筆，總量測資料筆數為 29400 筆。

利用量測出的角度變化訊號分別當作類神經網路訓練及測試的訊號，因此吾人將巡防艇所量測數據訊號作為倒傳遞網路輸入訊號，輸入訊號進入倒傳遞演算法時，倒傳遞演算法會先經過隱藏層再經過輸出層，經由多次的計算，直到網路輸出值與量測目標值相似為止。

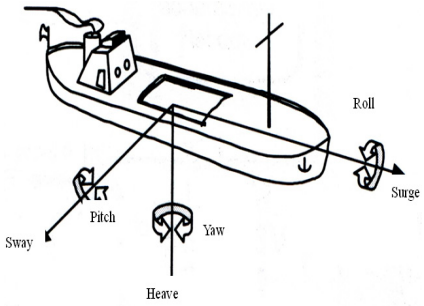


圖5、船舶的六個自由度

（一）巡防艇之性能諸元

本研究中所使用的三艘巡防艇均為目前我國海岸巡防署現正服役當中的船隻，其基本規格如表 1 所示。本研究在海上所量測到的實際實驗數據都是藉由裝置在 20、30、100 噸等三艘小型巡防艇上的陀螺儀量測巡防艇海上運動受到波浪影響的 Roll、Pitch 及 Yaw 的訊號，希望利用類神經網路的建模能力將三艘巡防艦的三個旋轉角度的運動模型予以重現，供後續研究之使用。

表 1、巡防艇諸元表

	20 噸	30 噸	100 噸
長度	14.16M	20M	30.5M
寬度	4.76M	4.8M	6.8M
艇深	2.10M	2.3M	3.55M
艇材質	FRP	FRP	鋼質
最大船速	40KNOT	45KNOT	30KNOT
吃水深度	0.6M	0.73M	1.7M

（二）學習及測試模式

本研究中所採用的類神經網路共計三組(橫搖模型、縱搖模型、偏航模型)每一組的均為 5-5-1 架構，包含 5 個輸入神經元 X_i、5 個隱藏層神經元以及 1 個輸出神經元 Y，其中輸出神經元分別代表橫搖、縱搖、偏航角度訊號。學習與測試方法係以交叉學習測試法為之，利用二艘巡防艦的海測數據作為建模的訓練資料，再利用另外一艘巡防艦的實際海測數據作為驗證模型使用，如表 2 所示：

表 2、學習及測試模式

	100 噸	20 噸	30 噸
一	Training	Training	Test
二	Training	Test	Training
三	Test	Training	Training

初始類神經網路之權重值及偏權值是預先給定的隨機亂數，其數值範圍介於[-1, 1]，學習用的輸入資料是經由三艘巡防艇上所裝置的陀螺儀所量測到的訊號，分別為 Roll、Pitch、Yaw 三個角度的資料共計 58800 筆，學習次數為 200 次。學習用的資料輸入方式是將預備訓練的二艘船舶運動數據以串接的方式依序輸入類神經網路，每一筆輸入資料均以時間排列的方式依續疊代，使得每一筆訓練資料均包含 5 個取樣時間的資料，學習網路的架構如表 3 所示。

表 3、資料排序表

輸入					輸出
X_1	X_2(t-1)	X_3(t-2)	X_4(t-3)	X_5(t-4)	Y
D_1	0	0	0	0	y_1
D_2	D_1	0	0	0	y_2
D_3	D_2	D_1	0	0	y_3
D_4	D_3	D_2	D_1	0	y_4
D_5	D_4	D_3	D_2	D_1	y_5
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
D_{n-1}	D_{n-2}	D_{n-3}	D_{n-4}	D_{n-5}	y_{n-1}
D_n	D_{n-1}	D_{n-2}	D_{n-3}	D_{n-4}	y_n

測試用的網路其主要架構與訓練用網路是一樣的，其測試網路之權重值及偏權值係由訓練完成的類神經網路所得，測試用的輸入資料也是經由三艘巡防艇上所裝置的陀螺儀所量測到的訊號，Roll、Pitch、Yaw 三個角度的資料每艘分別計有 29400 筆，測試次數 1 次。如表 4 所示：

表 4、學習與測試的網路設定

	學習	測試
輸入層神經元	5	5
隱藏層神經元	6	6
輸出層神經元	1	1
訓練(測試)資料	58800	29400
學習率	0.5	X
訓練(測試)次數	200	1

五、巡防艇實驗結果

本研究的實驗結果將分為二個部份來說明，分別為學習結果、測試結果。

（一）學習結果

在學習結果的部份，Target 線表示目標值，目標值是巡防艇在海上所量測的實際波浪訊號。BPN 線表示推論值，推論值是類神經網路學習所推論出來的數值；在學習的收斂情形部份，error 線表示類神經網路學習的收斂情形。

利用 100 噸與 20 噸、100 噸與 30 噸、20 與 30 噸兩艘巡防艇量測出的訊號做為學習之輸入資料，其中圖 6 為 100 噸與 20 噸巡防艇的縱搖資料學習結果，圖 7 為橫搖的學習結果，圖 8 為偏航角度的學習結果。

圖 9 為 100 噸與 30 噸的縱搖資料學習結果，圖 10 為橫搖的學習結果，圖 11 為偏航角度的學

習結果。

圖 12 爲 20 噸與 30 噸的縱搖資料學習結果，圖 13 爲橫搖的學習結果，圖 14 爲偏航角度的學習結果。由圖中可以發現其學習誤差均收斂至 0.005 以下，顯示此類神經網路符合學習的目的。

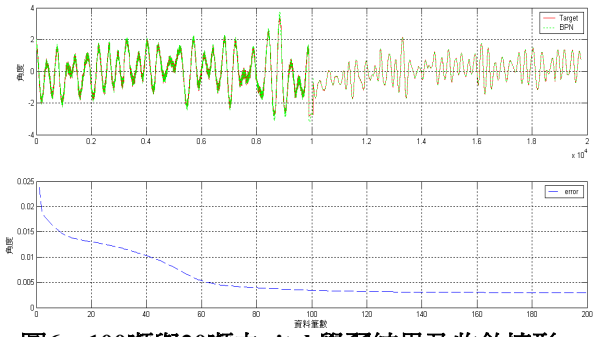


圖6、100噸與20噸之pitch學習結果及收斂情形

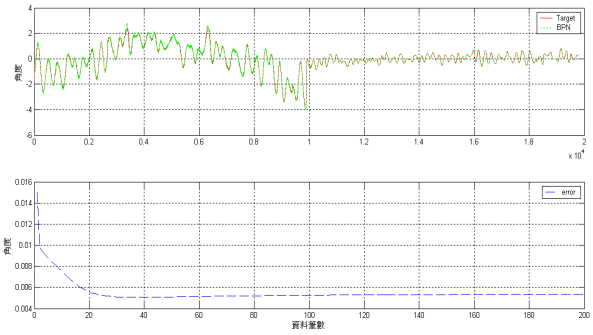


圖 7、100 噸與 20 噸之 roll 學習結果及收斂情形

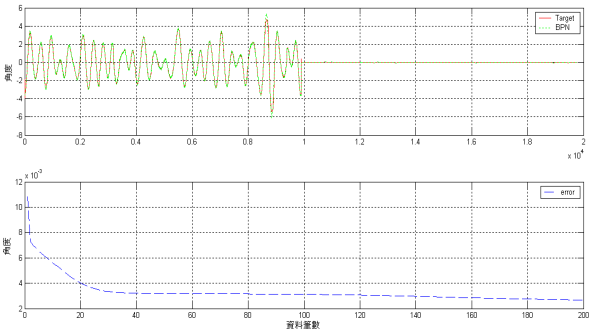


圖 8、100 噸與 20 噸之 yaw 學習結果及收斂情形

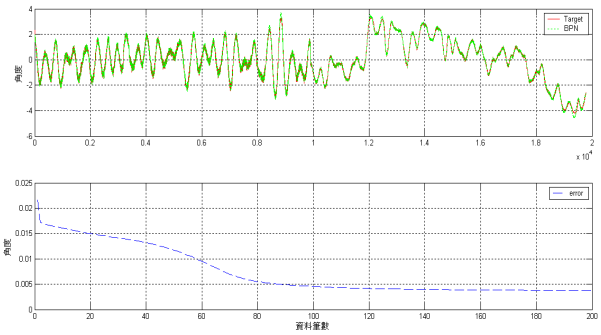


圖 9、100 噸與 30 噸之 pitch 學習結果及收斂情形

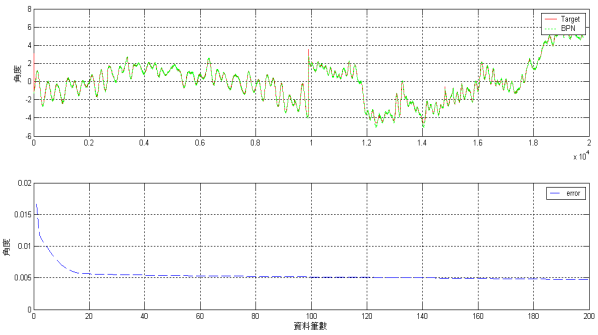


圖 10、100 噸與 30 噸之 roll 學習結果及收斂情形

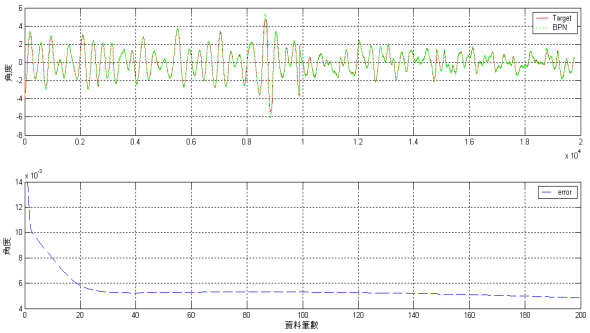


圖 11、100 噸與 30 噸之 yaw 學習結果及收斂情形

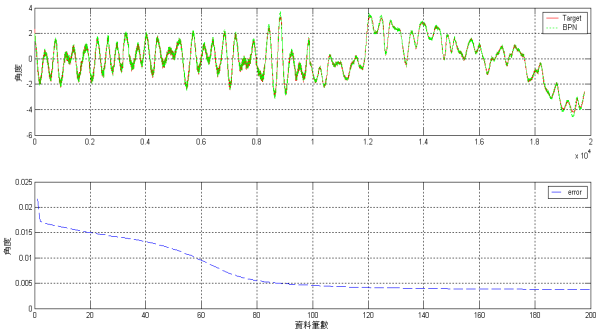


圖 12、20 噸與 30 噸之 pitch 學習結果及收斂情形

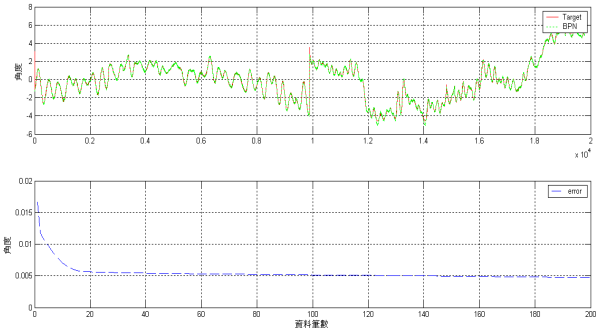


圖 13、20 噸與 30 噸之 roll 學習結果及收斂情形

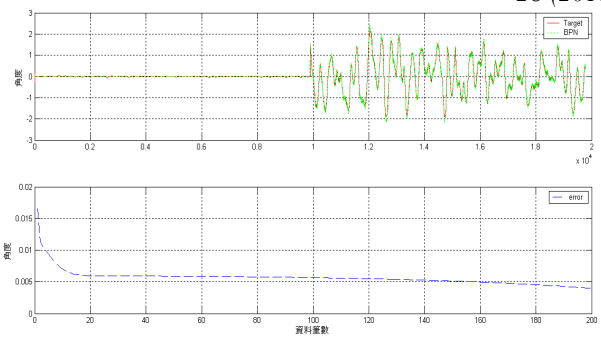


圖 14、20 噸與 30 噸之 yaw 學習結果及收斂情形

（二）測試結果

在測試結果的部份，BPN 的線表示目標值，目標值是實驗用船舶在海上所量測的實際波浪訊號，Target 的線是經由類神經網路所預測的波浪訊號；在測試結果誤差的部份，error 的線表示類神經網路所預測的波浪訊號及目標值之間的誤差。

圖 15、圖 16 與圖 17 為 30 噸級巡防艇的測試結果，圖 18、圖 19 與圖 20 為 20 噸的測試結果，圖 21、圖 22 與圖 23 為 100 噸級的測試結果，由其結果可以看出本文所提出之船舶運動模型可以有效的重現船舶三個旋轉運動的動態。

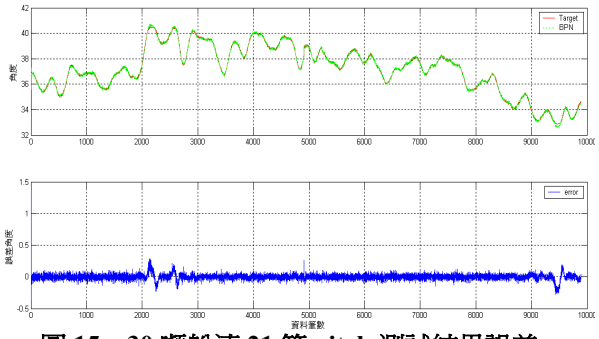


圖 15、30 噸船速 21 節 pitch 測試結果誤差

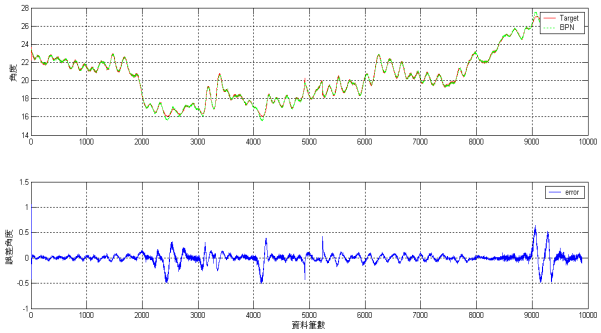


圖 16、30 噸船速 21 節 roll 測試結果誤差

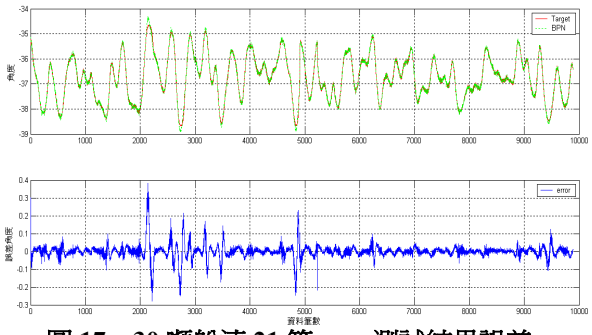


圖 17、30 噸船速 21 節 yaw 測試結果誤差

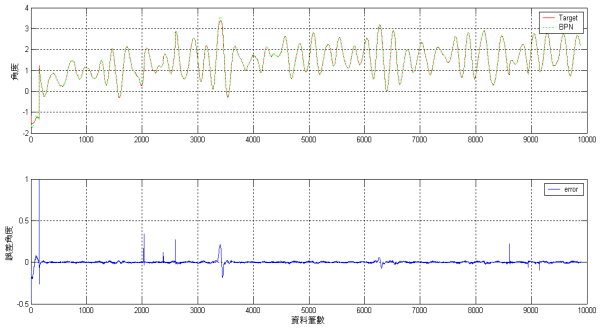


圖 18、20 噸船速 10 節 pitch 測試結果誤差

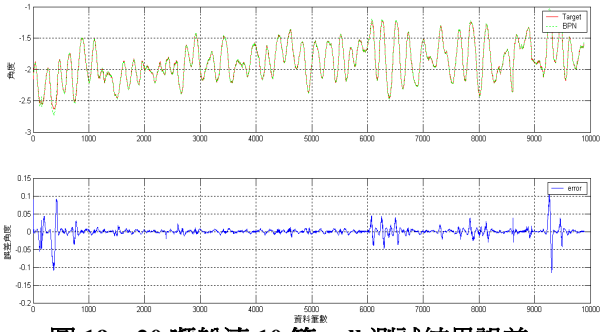


圖 19、20 噸船速 10 節 roll 測試結果誤差

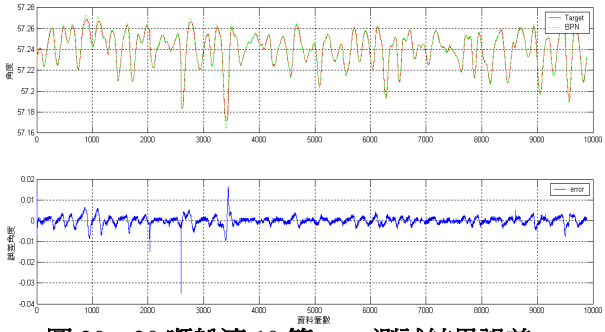


圖 20、20 噸船速 10 節 yaw 測試結果誤差

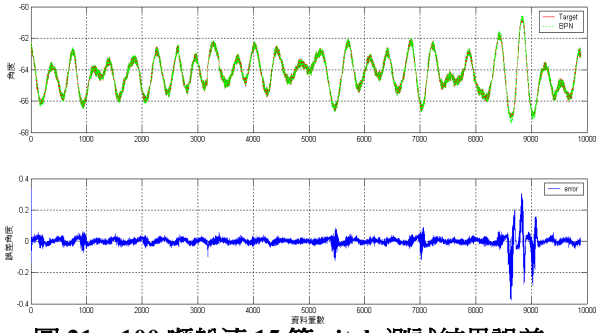


圖 21、100 噸船速 15 節 pitch 測試結果誤差

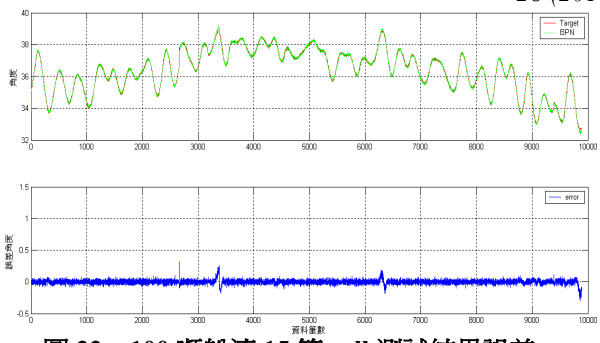


圖 22、100 噸船速 15 節 roll 測試結果誤差

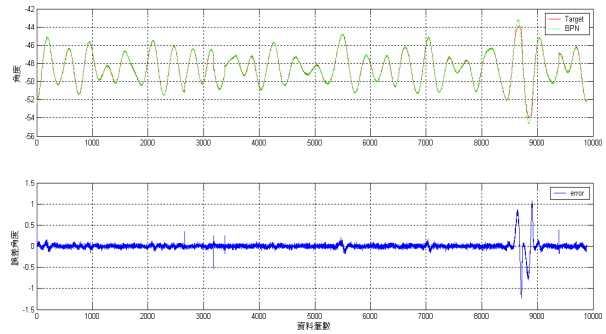


圖 23、100 噸船速 15 節 yaw 測試結果誤差

從測試結果及誤差可以得知，在測試結果部份推論值及目標值之曲線趨勢幾乎相符，表示兩者誤差極小準確率高。在測試結果誤差部份清楚的顯示出推論值及目標值兩者之間的誤差量均維持在相當小的誤差量，顯示本研究所採用之類神經網路用於船舶運動中縱搖、橫搖與偏航角度三個旋轉自由度的建模結果是可以被接受的。

（三）平均誤差及總平均誤差

表 5 為本研究測試結果之 Roll、Pitch、Yaw 平均誤差及總平均誤差。

表 5、平均誤差及總平均誤差

	Pitch	Roll	Yaw
(100 噸) 平均誤差	1.9E-4	1.43E-5	1.3E-4
(30 噸) 平均誤差	5.3E-4	1.43E-4	4.4E-4
(20 噸) 平均誤差	2.67834E-6	8.8E-5	1.92E-5
總平均誤差	2.4893 E-4	8.177E-5	1.964E-4

結論

從第五節中的學習與測試結果得知，船舶在海上航行時，會受到氣象環境等因素的影響，波浪訊號取得對於船舶本身之材質、吃水深度、排水量、船底型狀、船速度、等皆有影響，經倒傳遞網路之訓練階段及測試過程，在本研究中均具準確度且能被接受，未來仍將朝這個方面繼續延伸研究發展學習。往後若能增加船舶數量、噸位、船型分類等取得更完整參數的波浪訊號，期能建構出一套完善的波浪訊號資料庫，便可以提供作為模擬機重現各種不同船型船舶運動姿態，以做為專業航海人員的職前訓練。

參考文獻

[1] 鄭翔元,「船舶運動模式建模與動態實現之研究」,國立高雄海洋科技大學輪機工程系，碩士論文(2007)。

[2] J. C. Principe, N. R. Euliano, and W. C. Lefebvre, “Neural and adaptive systems”, John Wiley & Sons Inc(1999).

[3] 蘇木春、張孝德，〝機器學習：類神經網路、模糊系統及基因演算法則〞，台北市，全華科技圖書。

[4] J. J. Hopfield, “Artificial neural networks”, IEEE Circuits and Devices Magazine, Vol. 4, pp. 3-10(1988).

[5] A. R. Gaiduk, Y. A. Vershinin, and M. J. West, “Neural networks and optimization problem”, Proceeding of IEEE International Conference Control Application, Vol. 1, pp. 37-41(2002).

[6] 葉怡成，〝類神經網路模式應用與實作〞，台北市，儒林出版社。

[7] Y. H. Zweiri, L. D. Seneviratne, and K. Althoefer, “Stability analysis of a three-term backpropagation algorithm”, Neural Neworks, Vol. 18, No. 1,pp. 1341-1347(2005).

[8] D. Svozil, V. Kvasnicka, and J. Pospíchal, “Introduction to mukti-layer feed-forward neural networks”, Chemometrics and Intelligent Laboratory Systems, Vol. 39, No. 1, pp.43-62(1997).

華岡工程學報第 28 期 民國一百年六月 中國文化大學工學院
Hwa Kang Journal of Engineering, Chinese Culture University 28 (2011) 43-48

Femtocell 發展的介紹以及 Covariance 調整式適應性天線應用於該系統的數學分析

劉宗慶*
中國文化大學電機工程學系
Email: tcliu@faculty.pccu.edu.tw

摘要

於 WCDMA 中配置 Femtocell 最近引起廣泛的討論。統計顯示:有超過 50%的語音電話與超過 70%的數據傳輸發自室內，這建議了安裝一基地台於室內，並以寬頻用 internet 的方式連接至 Macrocell 以分擔 Macrocell 的資源,如此可提供更有效的服務且節省整體設置費。因目前的 3GPP 的規範系統業者 Macrocell 與 Femtocell 必須使用同一載波頻率，所以 Femtocell 的配置必定會有同通道干擾，特別是當行動台接近 Femto BSR 時，因為 CDMA ”near-far”的 power control 的設計會使得 Femtocell 的 BSR 會因增加 Macrocell 的發射功率與其相互干擾，如此在 Femtocell 的房屋週圍形成一黑區，使得行動台無法交替至 Femto。Alcatel-Lucent 有提出一 auto-configuration 的辦法，由 Femto 依狀況自動調整其發射功率，模擬顯示該項設計使得同載波的 Femtocell 配置的系統是可行的，但若 Femto 與 Macro 的距離小於 50 米，則房屋內與週遭的某些部分仍會出現黑區(Black Zone)。智慧型陣列天線的構想被他們提出，為未來可改善的方向，該設計可使得 Macro 與 Femto 的天線增益可有效的做方向性的控制，使房子內與四週不形成黑區。目前各公司與學術界最亦廣泛的討論此種應用，本人早於 1991 年即提出一 MCA Adaptive Array-用於 CDMA 系統中，可轉應用於 Femtocell 系統的配置。本研究在探討 MCA Adaptive Array 應用於 Femtocell 系統時，涵蓋率的數學分析的方法做討論，以提供未來模擬之探討。

關鍵詞: Femtocell, WCDMA

Femtocell Deployment Analysis and Methodology of Using Covariance Adjustment Adaptive Array

Tsung-Ching Liu*
Department of Electrical Engineering, Chinese Culture University

Abstract

The Femtocell deployment in WCDMA system has addressed great attention recently. The statistics shows that over 50% voice call and over 70% data traffics were originated from indoors. This suggests installation a Base Station Router in house connected to Macrocell by internet to share the loading of the Macrocell. Since current regulation, Macrocell system operation is confined in a single carrier frequency, the deployment of Femtocell will cause co-channel interference, especially when the mobile user is approaching the Femtocell the near-far set-up of the CDMA system would tend to increase the interference between Macrocell and Femtocell. This would cause Black zone around house

that would prevent the mobile user handover to the Femtocell. To alleviate this problem, Alcatel-Lucent had planned a system that would automatically adjust the Femtocell's transmitting power. The performance is adequate to allow the deployment of Femtocell under the same carrier condition. Still, black zone appears in some part of the house when Femtocell BSR is close to Macrocell base station. Smart antenna has the advantage to intelligently adjust its beam so as to restrict the transmitting power of the Macrocell and Femtocell in certain direction so SINR can be controlled. Therefore, both industrial side and academic side had a great deal of research discussions toward this topic during the last few years. In this paper, we had proposed a MCA adaptive array system applied to the Femtocell deployment in an effort to solve the problem as suggested by Alcatel-Lucent. MCA adaptive Array is a method proposed by author in 1991 to be used in a common CDMA system. It would be adequate to impose such strategy to Femtocell deployment so as to eliminate the black zone. The strategy and coverage simulation method will be described for use in Alcatel-Lucent's simulation set-up for future simulation purpose.

Keywords: Femtocell, WCDMA

一、 研究背景及目的

在無線網路中，高速位元速度的需求，促使產生一些新的蜂巢式系統的發展如 WiMAX (802.16e)、3GGP 的 HSDPA(High Speed Data Packet Access) 、LTE 3GPP2 的 EVDO 與 UWB。從 2006 年開始，在許多大廠支援下，HSDPA 逐漸形成主流。導入 HSDPA 只需在 WCDMA 無線網路部份作相對的升級，將其下行速率從 384Kbps 提升到 14Mbps，而整個網路架構及整個核心網路保持不變，並且繼續使用 WCDMA 的頻率而無需單獨的載波率頻，因此 HSDPA 不但能有效保護電信業者的投資成本，還擴大了其業務範圍。其最高 14.4Mbps 傳輸速率是可與 WiMax 的 15Mpbs 相匹敵。WiMAX 雖整體建置費雖爲其 1/3，但因已建置 3G 的系統只需更換一個卡片，其餘只是軟體更新，即可很快的提供服務，不需增加額外費用，類似於以往 Modem 取代 ISDN 的例子一般，成爲快速可行性之方案。即蜂巢式電信系統在提供行動性與涵蓋率上較 Wi-Fi 爲優以外，亦欲達到和 Wi-Fi 相等量的速率。研究顯示超過 50%[1]的語音通話與超過 70%的數據傳輸是從室內發出的。通話用的網路設計在能忍受低信號品質的環境下工作，因語音所需的的位元速率是比較低的，(約爲 10kbps 或更低)

數據傳輸則需較高的信號強度及提供幾 Mbps 以上的速率。於室內的環境下，特別是在無線寬頻系統中使用較高的載波頻率，較難達成較好的信號品質，使得高速位元傳輸速率較難達成，這種狀況，使人提出一個課題:爲何不建議終端用戶可安裝一短距離低功率的無線基地台於室內，此即後來 Femtocell 的由來，它提供一雙贏的策略，用戶能藉由低價的 Femtocell 滿足穩定的高爲元速率的傳輸，Macrocell 的系統業者可節省 Traffic 資源將其昂貴的網路著重於戶外行動台。

Femtocell 原本名爲 Access Point Base station 或 Base Station Router(BSR)， 典型的爲住戶或小型企業體所設計，以室內基地台的方式用寬頻 (DSL/Cable/Ethernet/WiMAX)經 internet 連接至系統業者的網路，它可支援 2 至 5 個行動電話，使系統業者可因此延伸以往服務不能到達或受限制之處。如 UMTS 一樣， Femtocell 包含了 NodeB, RNC,和 GSN，並使用 Ethernet 爲 back haul。Femtocell 對系統業者的好處是增加容量與涵蓋率，但卻可減少投資與運作的開支。

Femtocell 的雛形於 2002 年由一群工作於瑞典與英格蘭的 Motorola 的工程師所發展出來，原是提

供行動電話—類似於 WiFi access point. 2004 年以兩家(3Way networks 與 Ubiquisys)最為有名。2005 年於 Conference 廣大討論，並且眾多公司如 Samsung, Airwork, ip.access,與 ReidioFrame works 加入設計。2007 年 7 月 “Femto Forum “成立並致力於推廣至全世界。

總結使用 Femtocell 的利基於下:

(一)、 更好的涵蓋內容-因用戶於戶內基地台的傳輸距離較短，可使用較低的發射功率，增長電池壽命，並有較佳的 SINR (所謂 five-bar 的涵蓋)。因干擾小，可在所既定的空間內提供更多的使用者，及提高 Spectrum Efficiency(每單位 Hertz 的使用者數)。

(二)、 增加 Macrocell 的可靠度-因已有 Femtocell 以 IP backbone 的方式負擔了部分 Traffic，將有更好的資源提供戶外行動台。

(三)、 租用費用的節省-都市 Macrocell 基地台的每月租費可達到 1000USD/month，還需外加電費與 backhaul 的使用; Femtocell 的設置可減少 Macrocell 基地台的數量，統計顯示營運費用可從 60k USD/yr 下降到 200USD/yr。

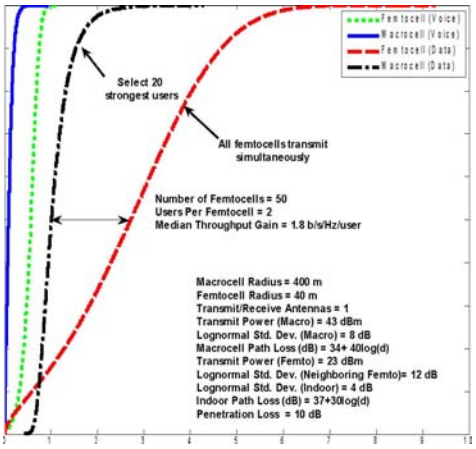
(四)、 減低用戶抱怨與轉換系統服務的機率-因較差的室內傳輸造成客戶滿意度不佳而傾向不使用此 Macrocell 的系統。

Macrocell 不搭配與搭配 Femtocell 之比較: 如以 OFDMA 有 100 個同時發射的用戶用於 Macrocell 系統，若改為 50 個 Femtocell 每個 Cell 都同時有 2 個使用者，則 Femtocell 可較 Macrocell 有 6 bits/s/Hz 的增益[2]如圖 1 所示。

干擾分析

建設 Femtocell 的最大課題為解決干擾的問題，Shannon 有名的公式 Capacity (最大的傳輸速率) $C = W\log_2(1+SINR)$，*SINR* 為信號與干擾雜訊之比值，此與對傳台的發射功率、其他台的發射功率、路徑損失及 Shadowing (建築物阻擋)有關。從 Macrocell 網路進入 Handover 至 Femtocell，現有蜂巢網路(2G,3G)依現有標準，行動台只能掃描最大 16 個鄰近 cell 的基地台數，並將結果傳至 RAN handover 之運算，依目前 3G CDMA 系統的標準，大部份的業者只給予單一頻率，因此當接近 Femtocell 時(遠離 Macrocell)原連接系統之 near-far power control 會動作以提高發射功率，造成對 Femtocell 的干擾(因 Femtocell 也使用同一載波頻率)，解決方法可為 Femtocell 使用不同的載波頻率或(於 3G 系統下)或使用 mode-2 power Option，使得行動台不增加 power，此決策亦會使得 Macrocell 的容量減少，此時性能的折衷(tradeoff)處理必須適當。於 PIMRC 07[3] Claussen 提出於 UMTS Femtocell/Macrocell 下有效的 Auto Configuration 和公共的接入(使用單一頻率任何人皆可接入 Femtocell)，雖然用戶需付安裝費，但卻可因此獲得較便宜的使用費。auto configuration 的意思為自動調整 Femtocell 的功率位準，以減低干擾，如此，先決條件需知道 Macrocell 的發射功率，因此 Macrocell 系統需要有 Femtocell 的位置資訊。輔以兩系統之 handover 訊息[4]，以提昇網路的流量，3GPP 會議提出在 open access 狀況下 co-channel deployment 是可行的，對 closed access 狀況下採用適應性干擾減低技術 co-channel deployment 亦可行，此適應應干擾減低的方法包含 power control 展頻碼的變動及適應性陣列天線(adaptive array antenna)。

Cumulative Distribution Function



Normalized Throughput Per User (b/s/Hz)

圖 1. Femtocell vs. Macrocell Throughput

我們的基本課題爲，Femtocell 與 Macrocell 配置同樣的載波頻率，因此依發射與接收的主客性，相干擾的的類別爲 Femto 與 Femto 的干擾、Femto 與 Macro 的干擾和 Macro 與 Femto 的干擾。而 Macro 與 Femto 之間的干擾是有造因於 Near-Far 的調整關係，而控管於 Macro 的 UE(行動用戶)意欲打電話而進入 Femto;或由 Femto 管轄，意欲進入 Macro. 同處於一 Macrocell 下的 Femtos 之間的干擾可由特定的 Scrambling code 依位置而均勻的分布(如 Alcatel-Lucent 的 Auto-Configuration process)，因此我們只專注在使用同一頻率的 Macro 與 Femto 上，Alcatel-Lucent 2008 年 4 月提出的白皮書公佈了其 Reconfiguration 的方法後 BSR Femto 的發射功率能自動調整，以保持設計涵蓋的範圍(行動台接近 Femto 時因 Macro 的 Downlink power 增大成爲干擾 Femto 的主因，因此 Macro 至 Femto 信號的位置關係影響性能，他如其他 Femtocells 對主控的 Femtocell 的干擾亦須適當以對。 Alcatel-Lucent 使用室內傳輸模式，住戶路徑損失地圖，完成 power-reconfiguration 可行性的模擬。

Lucent 的實驗證實的確在特殊強度干擾的情況下，Macro 的涵蓋範圍會有一黑暗區(Black Zone)存在於 Femto 的四周(圖.2)，造成無法 Handover。

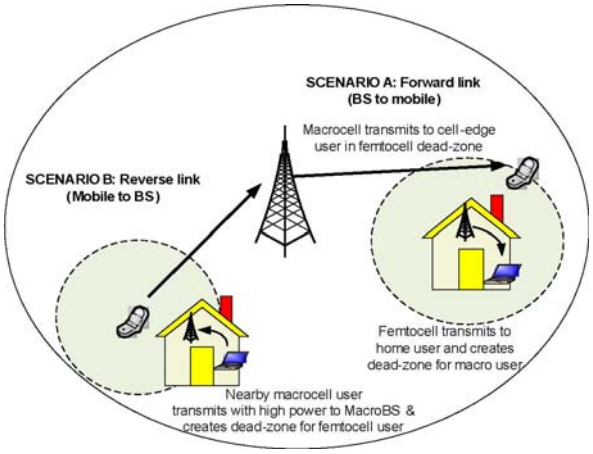


圖 2. CDMA Femto Networks 的 Black (Dead) Zones

其於 2008 年 4 月發表的 UMTS Femtocell Deployment 有關干擾的研究，包含了理論模擬與實測，該項研究證實了 BSR Femtocell 可以建置於和 Macrocell 相同的載波頻率，但 BSR Femto 的發射功率必須依其周圍環境的干擾而自動的調節，以提供既定的涵蓋範圍，以免造成 Macrocell 的涵蓋黑洞，即使如此，黑洞仍然存在。圖 3、圖 4 爲 Alcatel_Lucent 假設 Femto(House) 距 Macrocell NodeB 的發射天線爲 50 公尺下，畫出 Macro 與 Femto 的涵蓋圖。由圖 3 可看出 MacroCell 在用戶房子的窗戶有很好的涵蓋，但在緊鄰的房外卻沒涵蓋; 圖 4 顯示 Femtocell BSR 可涵蓋部分區域，不能涵蓋整個房子，皆有 black zone 的存在，並提出 Femtocell deployment 的建議，尤其是使用 Adaptive Beamforming (Adaptive Array Antenna)。

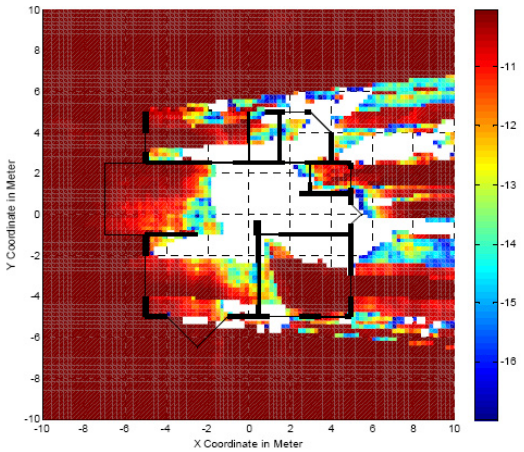


圖 3. Macrocell Ec/Lo 的涵蓋範圍 Femtocell 距離 Macrocell 50 米)(*Alcatel_Lucent*)

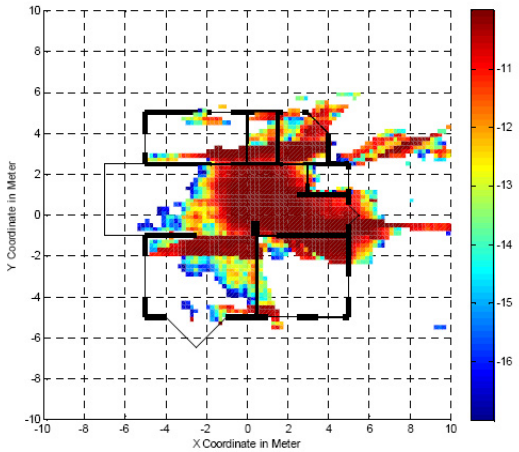


圖 4. Femtocell Ec/Lo 的涵蓋範圍(Femtocell 距離 Macrocell 50 米) (*Alcatel_Lucent)*

Smart Antenna

Adaptive Array Antenna (Smart Antenna) 用於

3G 系統早於 1998 年由 MPRG(Mobile and Portable Radio Group) 與 VTAG(Virginia Tech Antenna Group)所共同研發實體的元件，製作出二根天線的行動台，並實驗證明將發射與接收的 data 紀錄後，經 off-line 處理後顯示，對干擾体有 25-40db 的抑制。NextWave 爲第一家使用適應性 Beamforming (4 根天線)，以 30 度的 Beam 選擇服務用戶，比較於單一 360 度的單一天線的系統，其服務距離增加 150%、容量增加 400%、涵蓋範圍增加 180%，除了可提高 1.5 至 4 倍的傳送速率，並可減少基地台的數目。韓國的 SAS 公司提出如下的 roadmap(圖 5)並使用 smart antenna 使系統容量增加一倍。2010 的目標爲 WiBro/HSDPA 的寬頻蜂巢式系統，結合 Macro/Femto cell 並使用 Smart Antenna。

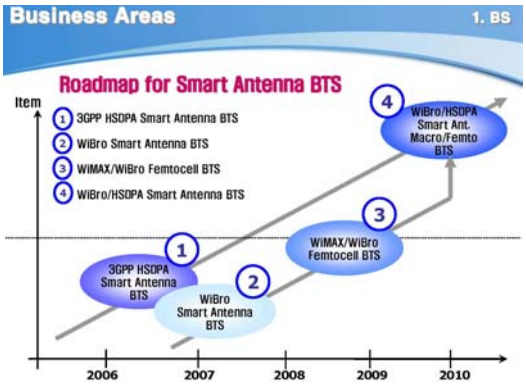


圖 5. Smart Antenna 使用於蜂巢無線系統發展的 Roadmap

所已於相同頻率操作下，針對目前 Femtocell 所發展之趨勢，smart antenna 的設計已是一個重要的趨勢。

筆者曾提出 Modular Covariance Adjustment (MCA) Adaptive Array 用於 CDMA 系統並發表在 IEEE ICASSP[5]，且於 2008 電信研討會提出日本 Femtocell 法規之發展狀況[6]。此次進一步探討 MCA Adaptive Array 用於 Femtocell 下，其性能分析的數學處理方法，可提供未來模擬之依據。

二、 研究方法

我們所設計的 Smart Antenna 就在於處理 Macro 與 Femto 之間的干擾，亦即對於接近的 UE 適當的提供 Femto 的發射 Beam Pattern 對 UE 的發射功率控制在某一強度(constrained)，並減低對 Macro 的發射功率。MCA Adaptive Array 爲一 Minimum Variance Beamformer (constrained Minimization Problem)，Covariance Adjustment 即在於解決無線通信中多重路徑造成的 Coherent Interference (Minimum Variance Beamformer 的致命傷)，猶如 Decision Feedback 型的 Beamformer，很適合目前所需的條件。假設 Femtocell 所用的天線爲一 2-D 均勻圓周型的陣列，具有 M 個天線元件，**w** (Weight Vector)爲一(Mx1)的天線增益，**x** 爲 (Mx1) Snapshot 向量，最佳化的 Beamformer 需滿足:

$$\min_{w} \mathbf{w}^{\mathbf{H}}\mathbf{R}_x\mathbf{w} \quad \text{subject to} \quad \mathbf{A}_\theta^T\mathbf{w}^{\mathbf{H}} = \mathbf{e}_\theta, \qquad (1)$$

其中

$$\mathrm{A}_\theta = [\mathrm{c}_\theta(\omega_1),\cdots,\mathrm{c}_\theta(\omega_n)\,|\,\mathrm{s}_\theta(\omega_1),\cdots\mathrm{s}_\theta(\omega_n)]$$

$$\mathrm{e}_\theta = [e_1\cos\phi_1,\cdots,e_n\cos\phi_n\,|\,e_1\sin\phi_1,\cdots e_n\sin\phi_n]$$

$[e_1,\cdots,e_n]$, $[\phi_1,\cdots\phi_n]$ 決定在信號頻寬內所要的頻率響應，

$$\mathrm{c}_\theta(\omega_k) = [\cos(\omega_k\tau_{1,\theta}),\cdots,\cos(\omega_k(\tau_{M,\theta}-L+1))]^T,$$

$k=1,2,\cdots N$

L 爲信號時域取樣的數目(因爲是寬頻的信號)。同樣的

$$\mathrm{s}_\theta(\omega_k) = [\sin(\omega_k\tau_{1,\theta}),\cdots,\sin(\omega_k(\tau_{M,\theta}-L+1))]^T,$$

$k=1,2,\cdots N$

頻率$\{f_1, f_2\cdots f_N\}$ ($\omega_k = 2\pi f_k$)均勻的切分信號的寬頻頻譜。$\mathbf{R}_x = \mathbf{E}\{\mathbf{x}\mathbf{x}^H\}$爲 snapshot data vector 的 Covariance 矩陣，於實際系統可由樣本 Covariance Matrix($\hat{\mathbf{R}}_x = \frac{1}{N}\sum_{n=1}^{N}\mathbf{x}_n\mathbf{x}_n^H$)所代替。於 adaptive 過程中，$\hat{\mathbf{R}}_x$ 必須被調整以消除 coherent interference 使得 $\hat{\mathbf{R}}_x$ 調整成與 Interference 與 Noise 有關。Covariance Adjustment 的結構請參考[5]。定義於方向θ的 Beamforming gain 爲

$$\mathrm{G}_\mathrm{i}(\theta) = \mathrm{w}^H\mathrm{v}_\mathrm{i}(\theta),\ i = 1\cdots N \qquad (2)$$

爲每一頻率之增益。

$\mathbf{v}_\mathbf{i}(\theta) = \mathbf{c}_\theta(\omega_i) + \mathrm{j}\,\mathbf{s}_\theta(\omega_i)$，爲結合 $\mathbf{A}_\theta$ 中第 i 項 $\mathbf{c}_\theta(\omega_i)$ 與第 i+N 項 $\mathrm{s}_\theta(\omega_i)$。前面的推導之所以將 exponential 拆開爲 Sine 與 cosine 的空間是依 Buckley[7]的分析可用 Single Value Decomposition

(SVD)的方法簡化 (1)中之 constrain，可參考[7]，不在此贅述。所以 Channel Gain(Femto 至 Macro)爲:

$$h_{jk}(i) = d_{jk}^{-\alpha}\mathbf{w}^{\mathbf{H}}\mathbf{v}_i(\theta_{jk}),\ i = 1\cdots N;$$
$$\text{j, k} \in \{U(\text{UE}), M(\text{M}acro), F(Femto)\} \quad (3)$$

$h_{jk}(i)$ 爲頻率 i，j 至 k 的 channel Gain; d_{jk} 爲 j 至 k 的距離。因此於 Macro 的 SINR(Signal to Interference and Noise Ratio)對接收 UE 爲

$$SINR_M = \frac{P_{UM}d_{UM}^{-\alpha}[\sum_{i=1}^{N}|\mathrm{w}_M^H\mathrm{v}_i(\theta_{UM})|^2]}{N_0 + P_{FM}d_{FM}^{-\alpha}\sum_{i=1}^{N}w_F^H(\theta_{FM})|^2 + \sum_{u=1}^{U} P_{U_uM}d_{U_uM}^{-\alpha}[\sum_{i=1}^{N}|\mathrm{w}_M^H\mathrm{v}_i(\theta_{U_uM})|^2]} \quad (4)$$

對於若 Macro 的接收天線爲 monopole 則分子與分母中括弧之值設爲 1。Femto 對 Macro 的影響爲分母第二項。在推導 Adaptive Array 我們假設 Reciprocal 定律存在，即在既定的 weight **w** 下，beamforming 的響應(Pattern)同時存在發射與接收。同理，SINR_F 亦可依類似的方法算出。

涵蓋率分析的方法:

我們要去計算 $\mathrm{P}\{\mathrm{SINR}_\mathrm{M} \geq \mathrm{T}\}$ 與 $\mathrm{P}\{\mathrm{SINR}_\mathrm{F} \geq \mathrm{T}\}$，並將涵蓋區畫出。距離參數與角度參數爲相互獨立的隨機變數。涵蓋區的定義以 Femtocell 爲例，我們計算

$$S := \iint_{S:(d_{FF},\theta_{FF}):SINR_F \geq T} ds \quad (5)$$

理想上，加上 MCA Adaptive Array，我們希望在 Femtocell 的房內及 Macrocell 於房子外的沒有 Black Zone 的機率趨近 1。

三、 結論

本研究在探討HSDPA的Femtocell的配置上，Smart Antenna爲將來必行之方向，亦提出筆者之MCA Adaptive Array用於Macrocell 與Femtocell中以改善black zone的問題，並提出於的涵蓋率分析上，干擾模擬的數學分析的方法。未來將採用類似Alcatel_Lucent的架構上加以驗證加入MCA Adaptive Array後之Black Zone 的改善情形。

參考資料

[1] Presentations by ABI Research, Picochip, Airvana, IP Acces, Gartner, Telehonica Espana, 2nd International Conference on Home Access Points and Femtocells, [online].Available:http://www.avrenevents.com/dallaFemto2007/purchase_presentations.htm
Presentations by ABI Research, Picochip,Airvana,
[2] http://arxiv.org/ftp/arxiv/papers/0803/0803.0952.pdf
[3] Holger Claussen “Performance pf Macro-and co-channel Femtocells in a hierarchical cell structure”Bell Laboratories Alcatel-Lucent, The 18th Annual IEEE International Symposium on Personal, Indoor and Mobile Radio Communications 2007 (PIMRC’07)
[4] Lester T.W. Ho, Holger Claussen”Effects of user-deployed, co-channel femtocells on the call drop probability in a residential scenario”, Bell Laboratories Alcatel-Lucent, The 18th Annual IEEE International Symposium on Personal, Indoor and Mobile Radio Communications 2007 (PIMRC ’07)
[5] Tsung-Ching Liu, 1993, " The Modular Covariance Adjustment Adaptive Array for CDMA Wireless Communication”, IEEE ICASSP, pp. IV-180-183
[6] 柯秉昌、劉宗慶 2008 “日本發展Femtocell 基地台相關技術與法令參考” 2008年全國電信研討會 PE1-94
[7] K.M. Buckley”Spatial”Spectral Filtering in Linearly Constrained Minimum Variance Beaformer” IEEE Trans.on Acoustics, Speech, and Signal Processing, Vol 35. Numer 3, March 1987 pp.249-266

華岡工程學報第28期 民國一百年六月 中國文化大學工學院
Hwa Kang Journal of Engineering, Chinese Culture University 28 (2011) 49-56

Exploiting Practical-considering Techniques in MOSFET Circuit Simulations based on Selective-tracing Waveform Relaxation Algorithm

C. J. Chen*, C. L. Tsai, J. D. Sun, C. J. Lee, Allen Y. Chang, L. P. Chou, and T. N. Yang
Department of Computer Science, Chinese Culture University
E-mail: teacherchen62@yahoo.com.tw

Abstract

Practical-considering techniques are special method to enhance the simulation speed. They utilize customs of engineers (or software using circuit simulations). Incremental simulation is one of practical-considering techniques. This paper proposes a new incremental simulation algorithm called Incremental-pseudo Circuit Method (IPC-method), which is constructed in Selective-tracing Waveform Relaxation (STWR) algorithm. The Interactive Simulation Environment (ISE) has been proposed to cooperate with the incremental simulation for efficiency considerations. Another practical-considering technique is called simulation-on-demand (SOD), which is also proposed in this paper. Real experiments on the implemented program justify the effectiveness of proposed methods.
Keywords: incremental circuit simulation, relaxation-based, WR algorithm

應用實際考量技巧於基於 STWR 演算法的 MOSFET 電路模擬

陳俊榮*、蔡昌隆、孫振東、李志仁、張耀鴻、周立平、楊泰寧
中國文化大學資科系

摘要

此論文所謂實際考量技巧為考慮電路模擬器使用者的習慣，然後利用之以加強電路模擬效率的技巧，漸增模擬屬於實際考量技巧之一，此篇論文提出了稱做 IPC 的新的漸增模擬技術，而將之建構於 STWR 演算法中，也提出了 ISE 模擬環境搭配漸增模擬以發揮較高的模擬效率；另一種實際考量技巧為需求模擬(SOD)，也將之實際建構於 ISE 中。所有提出的方法均實際製做了，也執行了實際的電路模擬以測試之，模擬的結果驗證了所提方法的優秀效果。
關鍵詞：漸增線路模擬，基於鬆弛，WR 演算法

I. INTRODUCTION

Circuit simulation is very important in IC design community, since it provides detailed transient response waveforms to show the most comprehensive functions of the designed circuits. Classical approaches to solve circuit simulation problem including the "standard" simulators (such as SPICE) or relaxation-based simulators (such as RELAX [1], SPLICE [2], and their descendants). One of the major advantages of relaxation-based algorithms is their lower time complexities, which is helpful in dealing with large-scale circuits. However, the speedup is not significant. Other simulation technique using simpler simulation models (such as piecewise-linear model or switch model) can dramatically reduce the simulation time, but they only provide course waveforms. Obviously, the trade-off between the solution accuracy and simulation speed firmly exists: the more precise the obtained waveforms are the more simulation resource we need to pay.

In this paper, we provide an alternative strategy to break this trade-off. We wish to get precise waveforms (like that of calculated by SPICE) but only to use minute CPU time. Our strategy bases on behaviors of design engineers (or circuit design software). Circuit design is an iterative process, so the circuit simulation is also invoked repeatedly. Each simulation usually simulates the circuit only a little different from that of the previous circuit. We try exploiting efficient incremental simulation algorithms [4] to save simulation time. Another characteristic of users' behaviors is that only few waveforms rather than all waveforms are required. We try exactly bypassing "useless" calculations (while still provide satisfactory simulation results) to save simulation time. This technique is called *simulation-on-demand* (*SOD*) in this paper.

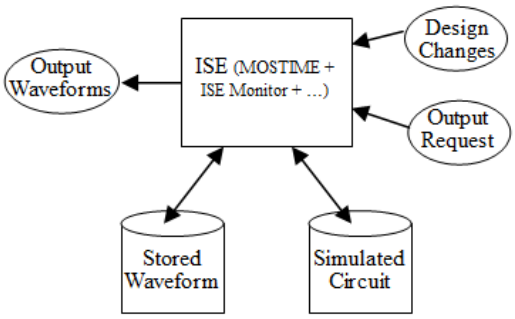


Figure 1. The Interactive Simulation Environment, ISE.

We implement this alternate strategy in the *Interactive Simulation Environment* (*ISE*), Fig. 1. ISE owns incremental simulation algorithm and SOD, which are called *practical-considering* techniques in this paper. ISE, operating in interactive manner, is different from usual batch-processing simulation environment. Because of the practical-considering characteristic of our goal, ISE is important in this paper. Selective-tracing Waveform Relaxation (STWR) [3] is used in ISE as the fundamental algorithm.

There exist several strategies for incremental simulation, such as Incremental-in-space, Incremental-in-time [4], and Incremental-in-change (IIC) [5]. Among them, IIC is most efficient, since it only calculates subcircuits "disturbed" by *design changes* (modifications on designs) [5]. However, in IIC, the amount of saved CPU time is not as much as that of subcircuit calculations. There exist overheads. So, we proposed a brand new incremental simulation technique called *Incremental-Pseudo Circuit* (*IPC*) *Method* (IPC-method). We will show how to implement IPC-method in STWR in following sections.

STWR forwardly traverses subcircuits and SOD needs to backwardly traverse subcircuits to identify subcircuits' contributions. To construct the SOD in STWR incurs some problems. We will propose a method in later sections to cope with this problem.

The outline of this paper is as follows. In section 2, we explain the fundamental numerical methods, including STWR algorithm, as well as the two practical-considering techniques. In section 3, we illustrate the implementation of proposed methods, in

which the pseudo codes for the STWR-based circuit simulation, details of software implementations and ISE are all clearly described. Section 4 demonstrates some experimental results to show the effeteness of proposed methods, which is then followed by conclusion remarks in Section 5.

II. USED NUMERICAL METHODS

A. STWR Algorithm

The fundamental algorithm of our work is STWR, which is relaxation-based. The two famous algorithms are WR (Waveform Relaxation) and ITA (Iterated Timing Analysis) [1] [2]. STWR is a more complicated algorithm. In fact, it concentrates advantages of them, and simulates large-scale circuits more efficient as well as robust [3]. The simulated circuit can be described as following time-varying differential equation:

$$F(Y(t),\dot{Y}(t),t)=0 \tag{1}$$

Where Y is the vector of circuit variables, t is the time, F is a continuous function and "." means differentiation with respect to time. The simulated circuit must be partitioned into subcircuits, and the ith subcircuit is:

$$F_i(Y_i(t),\dot{Y}_i(t),D_i(t),\dot{D}_i(t),t)=0 \tag{2}$$

Or, a subcircuit, say a, can be expressed in the abbreviate form:

$$f(y(t),\dot{y}(t),w(t),\dot{w}(t),t)=0 \tag{3}$$

Where y (Y_i, a sub-vector of Y) is the vector of circuit variables in a, w (D_i, the *decoupling* vector) is the vector of circuit variables not in a, and f is a continuous function. In this paper, a *subcircuit calculation* means the computation efforts to solve (3) for $y(t_{n+1})$ (t_{n+1} is current time point), which include applying integral formula (such as Backward Euller method or Trapezoidal Method) to (3), and solving the derived nonlinear algebraic equations by Newton-Raphson iteration.

STWR is a variance of WR, so we state the basic structure of WR algorithm (for circuit simulation) in Algorithm 1. We note that a subcircuit (s) is "scheduled" (arranged for calculation) for calculating for the entire simulation duration (see f1 in Algorithm 1) in WR. Then, STWR is represented in Algorithm 2. It likes WR in undertaking a series of waveform relaxation iterations (see f2 in Algorithm 2), but it uses a very different manner. One subcircuit is only scheduled for calculation at a time point, which is quite different from WR. We call this property *point-wise-scheduling*. To do so, a priority queue for subcircuits that sorts on subcircuit's current simulation time (t_{n+1}) is used (see f3). The subcircuit will be checked for whether it is *ready* (means that subcircuit s's fan-in waveforms all have been calculated later than $s.t_{n+1}$) to be entered into the priority queue (see f4 and f5). At line f5, the *selective-tracing scheme* of ITA algorithm is adopted. If any subcircuit has been not converged for too many time points (*MAXD*), one waveform relaxation is ended.

Algorithm 1 (WR for Circuit Simulation):

```
    for(Waveform Relaxation iteration index k) {
        // Perform kth waveform relaxation
        for(subcircuits, say s) {
            // Simulate subcircuit s
f1:         for(all time steps, say t_{n+1}) {
                Use integration rule, such as BE or TR, to
                    discretize (3), and use Newton Iteration to
                    solve the obtained nonlinear equations;
            }
        }
    }
```

Algorithm 2 (STWR for Circuit Simulation):

```
    for(Waveform Relaxation iteration index k) {
f2:     // Perform kth waveform relaxation
        Reset all subcircuits' t_{n+1} to converged time points;
        Clear PQ, add subcircuits that are ready into PQ;
f3:     while(PQ is not empty) { // PQ sorts on t_{n+1}
            Get a subcircuit, s, from PQ;
            Simulate s (like that in Algorithm 1) at s.t_{n+1};
f4:         if(s is ready) Add s into PQ;
f5:         Add fan-out subcircuits of s into PQ if they
                are ready;
```

```
f6:         if(there is any subcircuit doesn't converge for
                MAXD time points) break;
        }
    }
```

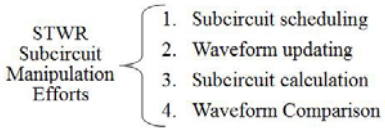


Figure 2. Computation efforts for subcircuit manipulations in STWR.

In order to precisely detect the "varying" situations (whether one subcircuit acts just the same as in previous simulation, i.e. generates the same waveforms as in previous simulation) of subcircuits in incremental simulation, we must utilize algorithms like STWR that has the point-wise-scheduling property. Other algorithms can be used as long as they have such characteristic.

B. The IPC-Method Incremental Simulation

Now we discuss the practical-considering techniques. At first we consider the incremental simulation technique. In performing incremental simulation, the waveforms of previous simulation are kept to be referred for current simulation. In our previous work, we have developed IIC [5] technique for incremental simulation, and shown that this method has better characteristics than previous works (such as Incremental-in-space and Incremental-in-time [4]). The major advantage of IIC is that it clearly detects the "varying" situations of subcircuits. Subcircuits are either in *following-state* (subcircuits act just like previous simulation) or in *changing-state* (subcircuits generate different waveforms). In [5], only changing-subcircuits are calculated, while following-subcircuits' solutions are just copied from the previous waveform. STWR is used to precisely detect the varying situations.

However, the method in [5] still induces unnecessary computations. Fig. 2 shows the computation efforts for subcircuit manipulation in STWR. In [5], only the third term of these efforts is saved. To save more overheads, we propose a new model that is based on the Incremental-Pseudo Circuit (IPC). An IPC of the simulated circuit *ckt* at t_{n+1} is described by following equation:

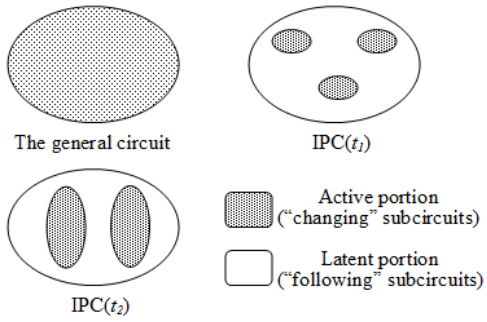


Figure 3. Example of IPCs at different time points.

$$IPC(t_{n+1}) = \{s \mid s \in subckt(ckt), s.state(t_{n+1}) = "changing"\} \quad (4)$$

Where *subckt* is the set of all subcircuits, state is the varying situation of a subcircuit, and t_{n+1} is a time point. IPC is a time-varying circuit whose size and content (the changing-subcircuits) varies from time to time. Fig. 3 shows examples of possible IPCs at different time. The idea of the IPC-based incremental simulation is to exactly simulate subcircuits in IPC, i.e. the simulator can only see IPCs and simulate IPCs exactly in simulation process. Following this rule, we can save the efforts of term 1, 2, and 3 in Fig. 2 (while term 4 is still needed). We call the new incremental simulation method IPC-method, which has following requirements for implementation:

Definition 1 (Requirements for Implementing IPC-method):

1. IPCs be identified correctly.
2. Only IPCs are simulated.
3. Generate correct waveforms for IPC.
4. Combine IPCs' waveforms with those of following-subcircuits (*ckt* - IPCs)

To implement IPC-method, we need a flexible simulation algorithm. STWR is good enough to be responsible for this requirement. The implementation details will be discussed in Section 3.

C. The Simulation-on-demand in STWR

As we explain earlier, SOD is to simulate as few as possible and still to satisfy users' requirements. SOD is advantageous, for simulator users usually need waveforms of only portions of circuit nodes.

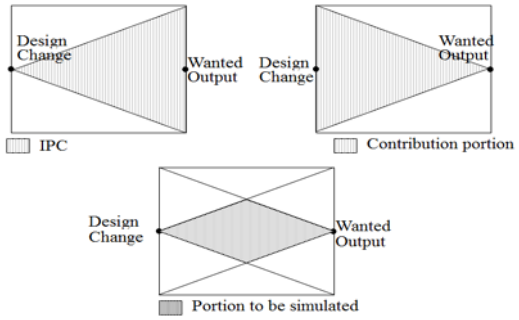


Figure 4. The simulated portion is shrunk by applying both incremental simulation and SOD.

Processed by relaxation-based algorithm, the entire circuit has been partitioned into subcircuits that can be viewed as a directed graph (in which subcircuits are viewed as vertices, and affecting relations are viewed as directed edges). We can identify subcircuits having "contributions" to the user-selected waveforms by graph traversals. The method is to backwardly traverse the directed graph from waveforms of interested, and mark all subcircuits traversed. In simulation, the unmarked subcircuits are then bypassed. The edges should include all possible affecting relations, least should any contributing subcircuit be ignored.

The method mentioned above is static, i.e. the identifying process doesn't consider dynamic situations of the simulated circuit. If there exist many coupling relations among subcircuits (due to parasitic elements or ground/power lines), the effects of the "static" SOD might be limited. Therefore the "dynamic" SOD, to identify contributing subcircuits dynamically according to circuit states, could be more effective. There exists a specific algorithm that simulates circuits by backward traversals (the *Backward-traversal Waveform Relaxation* algorithm, *BTWR*). It is more convenient to implement dynamic SOD on BTWR. This would be the future direction of our research.

We note that if the two practical-considering techniques work together, we could further reduce the calculation efforts. Fig. 4 shows this phenomenon, in which the intersection of IPC and contribution zone needs to be simulated only.

III. Implementation of Proposed Methods

The proposed methods have been implemented in the experimental circuit simulator MOSTIME [3][5]. MOSTIME owns several relaxation-based algorithms, including WR, ITA, and STWR. This program is coded in C language and runs in Windows OS. In order to emphasize simulation algorithms' effects, the simple analytic model for MOSFET is used. Simulated circuits are partitioned automatically according to coupling relations between circuit nodes.

Algorithm 3 lists pseudo codes of this modified-STWR that embeds practical-considering techniques.

Algorithm 3 (STWR-based Circuit Simulation with Practical-considering Techniques):

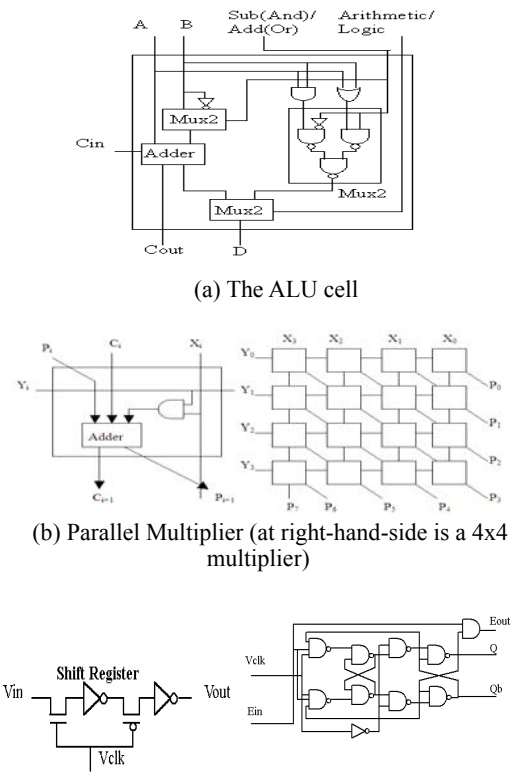
Input: Simulated circuit partitioned into subcircuits, primary inputs, and simulation time duration [T_{begin}, T_{end}].
Output: Time waveforms of required circuit nodes.
// t_n: previous time point; t_{n+1}: current solving time point
// t_c: converged time point
STWR() {
1: Reset all subcircuits' t_c to T_{begin}; Clear *PQ*;
2: **for**($T_{convergence} = T_{begin}$, $k = 1$; $T_{convergence} != T_{end}$; k++) {
  // k is the relaxation index
3: **for**(all subcircuit x whose $t_c != T_{end}$) {
3a: **if**($a.state$ == "following") **continue**;
4: $x.t_{n+1} = x.t_c$;
5: Put x into *PQ*;
  }
6: **while**(*PQ* is not empty) {
7: Delete the subcircuit a (with min. t_{n+1}) from *PQ*;
11: Solve a, (3), at $a.t_{n+1}$ for $a.y(t_{n+1})$;
12: **if**(The calculation is failed or $a.y(t_{n+1})$ is unacceptable) {
13: Shrink the time step of a, and add a into *PQ*;
14: **continue**;
  }
15: **if**($a.y(t_{n+1})$ converges and $a.t_n == a.t_c$)
    $a.t_c = a.t_{n+1}$;
16: **else** Increase a's divergent counts;
17: Store $a.y(t_{n+1})$;
17a: **if**(a become following-state) {
17b: $a.\ state$ = "following";
17c: $a.t_c = T_{end}$;

```
17d:            goto line 22;
            }
18:         Estimate a's next time point and store to a.t_{n+1};
19:         if(exact(a)) add a into PQ;
20:         for(all fan-out subcircuit of a, say w) {
21:             if(w is not in PQ && exact(w) &&
                    w.contribution) add w into PQ;
21a:            if(w has been added) {
21b:                w. state = "changing";
21c:                Reset w.t_c to appropriate value;
                }
            }
22:         if(k > 1 && a has been not converged
                for MAXD time points) {
                // MAXD adjusts window size
23:             T_convergence = the smallest t_c of all subcircuits;
24:             break;
            }
        }
    }
}

25:boolean exact(x) {
26:     t_ex = min{ w.t_n | w is fan-in subcircuits of x};
27:     if(x.t_{n+1} ≤ t_ex) return(true);
28:     else return(false);
    }
```

STWR uses selective-tracing scheme of ITA [2] to schedule subcircuits (line 20, 21). The traced subcircuit will not be calculated until it is ready, i.e. it meets the *exactness* condition (all fan-in subcircuits have been calculated at time points later than the solving time point, coded in exact() at line 25-28). Subcircuits are calculated at their own time steps, so multi-rate behaviors can be utilized (local time steps are estimated at line 18, and used at line 11). STWR, likes WR, also exploits the windowing technique [1] (at line 22, STWR decides the sizes of windows according to subcircuits' convergence situations, i.e. that any subcircuit has been not converged for *MAXD* time points will terminates a relaxation).

STWR is so flexible that we can implement IPC-method in it. Any subcircuit needs to enter *PQ* to have itself be calculated. We just limit following-subcircuits from entering *PQ* (line 3a and 17d). If a changing-subcircuit become following-subcircuit, it would be pretended as if it has completed all simulation (line 17a, b, and c). By these two manipulations, following-subcircuits are completely latent in simulation (meet Term 2 in Definition 1). A following-subcircuit might be awaken by its preceding subcircuits (line 21a, b, and c), too (meet Term 1 in Definition 1). The relaxation process is undertaken in solving changing-subcircuits, so Term 3 of Definition 1 is satisfied. To meet Term 4 of Definition 1, we need a powerful data structure for waveforms. Because a subcircuit might toggle between "changing" and "following" states



(a) The ALU cell

(b) Parallel Multiplier (at right-hand-side is a 4x4 multiplier)

(c) Shift Register cell (d) Synchronized Counter cell

Figure 5. Schematics of tested circuits.

repeatedly, the waveforms of a WR relaxation might have several segments (a segment is composed of continuous time points) of waveforms. The data structure should overcome these situations. Such data structure has been implemented and used.

Since the CPU time used for waveform reading/writing is significant, we need to use ISE, Fig. 1. In ISE, the original simulated circuit and the waveforms of previous simulation are kept (so the waveform reading/writing time is saved). Users interactively provide design changes and output requests to the system, and ISE performs incremental simulation with SOD to obtain output waveforms.

IV. EXPERIMENTAL RESULTS

In this section, we show some experimental results to see the effects of proposed methods. Table 1 shows the specifications of all tested circuits, in which design changes are also described. Schematics are plotted in Fig. 5. At first, we compare the performance of IPC-method and IIC and put the

TABLE I. SPECIFICATIONS OF TESTED CIRCUITS

Circuit	*Node#*	*MOS#*	*Subckt#*	*Design Changes*
1: 100-staged Inverter Chain	100	200	100	The 91st stage
2: 8-bit ALU	400	800	224	Toggle 12% of Arithmetic/Logic input
3: 8x8 Parallel Multiplier	1600	3200	448	Toggle 20% of bit-0 of multiplicand
4: 8-bit Shift Register	32	48	16	The last stage.
5: 4-bit Binary Counter	88	176	44	One subcircuit in most significant bit
6: 500-staged Inverter Chain	500	1000	5000	The 491st stage

TABLE II. COMPARISON FOR IIC AND IPC-METHOD

Ckt. #	*Subcircuit Cal. #*			*CPU Time**		
	STWR	*IIC*	*IPC*	*STWR*	*IIC*	*IPC*
1	67.3K	7577	5798	1.4	0.56	0.172
6	860K	9.13K	7.87K	18.9	6.36	0.375

*: CPU time is in Pentium IV 1.4G second.

TABLE III. PERFORMANCE COMPARISON FOR THE IPC-METHOD.

Ckt. #	*WDR*	*Subcircuit Cal. #*			*CPU Time**		
		STWR	*IPC*	*Ratio*	*STWR*	*IPC*	*Ratio*
1	10.9%	67.3K	5.8K	8.62%	1.4	0.172	12.3%
2	9.3%	135K	5.28K	3.91%	7.48	0.359	4.8%
3	13.1%	116K	27K	23.3%	26.2	8.16	31.2%
4	2.3%	87.5K	457	5.22%	4.60	0.062	1.35%
5	2.7%	242K	1.36K	0.56%	14.7	0.125	0.85%
3^+	13.1%	116K	1.82K	1.57%	26.2	0.593	2.25%

*: CPU time is in Pentium IV 1.4G second.
+: With SOD, only P0-P7 waveforms are required (see Fig. 6). While in Ckt. 3, P0-P15 are all required.

result in Table 2 (the computation efforts are represented by subcircuit calculation number and used CPU time). Both methods calculate subcircuits in IPC only (their subcircuit calculation numbers are similar), but IIC involves more overheads (Term 1 and 2 of Fig. 2). The result is that IPC-method use much less CPU time. Especially in Ckt. 6, IPC-method's used CPU time is about 5% of that of IIC (not to mention in comparing to STWR).

Then, we compare IPC-method-based incremental simulation with the general simulation using STWR and record the results in Table 3. In this table, the *Waveform Differentiation Ratio* (WDR), which is the ratio of "changing" time points in waveforms to the total time points, is stated. The ratio of computation efforts of IPC-method to that of STWR (Ratio) is also stated. We can compare these two ratios to see whether IPC-method performs well.

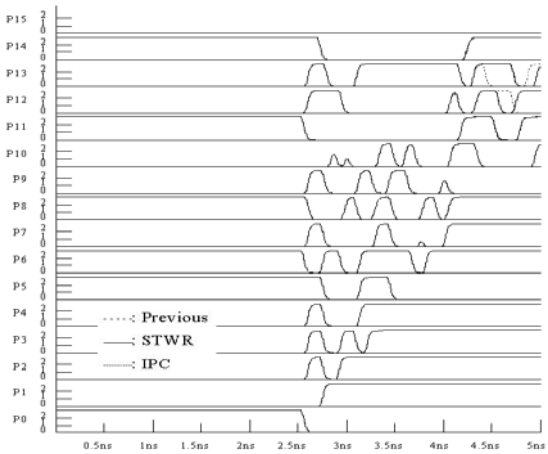


Figure 6. The waveforms (of previous simulation, STWR and IPC-method respectively) of 8x8 Parallel Multiplier.

The first three circuits are so-called one-way circuits, which don't have feedback affecting relations (directed or global feedback loop) among subcircuits. We can find that the Ratios are very similar to WDR, which means that IPC-method precisely calculates IPCs in the simulation. The waveforms of Ckt. 3, 8x8 Parallel Multiplier, are shown in Fig. 6, in which waveforms of STWR and IPC-method match each other very well. Observing more carefully, we find that Ratio is smaller than WDR in Ckt. 2 but is bigger than WDR in Ckt. 3. Since we use STWR to calculate, the final waveforms are obtained through un-predictable numbers of WR iterations. The IPC of incremental simulation might be easier or harder to converge than in the general simulation, so Ratios might be bigger or smaller than WDR.

The following Ckt. 4-5 are feedback circuits. Correct waveforms are also obtained and Ratios are proportional to WDR again. We note that in Ckt. 5,

the IPC (which has fewer feedback loops due to the smaller size) is much easier to converge than the entire circuit (which has a lot of global feedback loops), so the Ratios are much smaller than WDR.

The last test, Ckt. 3^+, combines incremental simulation and SOD, in which only half of outputs, P0-P7, are required. We compare the result with that of Ckt. 3 to find that Ratios have been dramatically reduced again. SOD is proven to be a powerful practical-considering technique, too.

All these experimental results show that proposed methods can dramatically reduce the simulation time when WDR is small. However, we also find that incremental simulation is not benefit when the WDR becomes too big. We know that IPC-method still pays the extra efforts for waveform comparison (Term 4 of Fig. 2). So, it is absolutely less efficient than the general simulation (by STWR) when all waveforms are disturbed (e.g. caused by a global design change). It's appropriate to use the general simulation rather than the incremental simulation when there are too many disturbed waveforms. To sum up, we think the major contribution of our method is to keep the ratio of incremental simulation time (with respect to that of general simulation) proportional to the WDR.

V. CONCLUSIONS

In this paper, we propose the ISE environment to speedup the circuit simulation without trade the accuracy of waveforms off. In ISE, we add the so-called practical-considering techniques, incremental simulation and simulation-on-demand, to the flexible relaxation-based simulation algorithm, STWR, to achieve our goal. A new incremental simulation method, called IPC-method, is firstly proposed and used. Simulation results justify the powerful effeteness of our methods. We have accomplished our goal successfully.

REFERENCES

[1] A. R. Newton and A. L. Sangiovanni-Vincentelli, "Relaxation-based electrical simulation," IEEE Trans. on Computer-aided Design, Vol. CAD-3, pp. 308-311, Oct. 1984.

[2] R. A. Saleh and A. R. Newton, "The exploitation of latency and multirate behavior using nonlinear relaxation for circuit simulation," IEEE Trans. on Computer-aided Design, vol. 8, pp. 1286-1298, December 1989.

[3] C. J. Chen, and W.S. Feng, "Transient sensitivity computations of MOSFET circuits using Iterated Timing Analysis and Selective-tracing Waveform Relaxation," Proceeding of 31st Design Automation Conference, pp. 581-585, San Diego CA, June 1994.

[4] Y. C. Ju, and R. A. Saleh, "Incremental circuit simulation using waveform relaxation," Proceeding of the ACM/IEEE DAC, pp. 8-11, 1992.

[5] C. J. Chen, J. L. Yu, and T. N. Yang, "Selective-tracing waveform relaxation algorithm for Incremental circuit simulation," Proceeding of International Symposium on Intelligent Signal Processing and Communication Systems, Hong Kong, pp. 205-208, December 13-16, 2005.

華岡工程學報第 28 期 民國 一百年 六月 中國文化大學工學院
Hwa Kang Journal of Engineering, Chinese Culture University 28 (2011) 57-64

應用最小區間法評估微探針模組之共面度誤差

張達元*、吳東晨、曹博凱
中國文化大學機械工程學系
*Email: zdy4@faculty.pccu.edu.tw

摘要

晶圓測試需要藉具高密度微探針模組之探針卡做為測試機與銲墊間的接觸媒介，以測得銲墊的電器訊號。由於 IC 設計的複雜性提高、銲墊間距縮小，探針針尖群形成一高密度的探針面，它的平整性對測試結果的正確性影響很大，也就是「共面度誤差」。共面度的控制是項很複雜的問題，發展微細探針的非接觸量測與共面度評估系統為探針模組製造上的重要課題。本研究應用 3-D 光學影像顯微鏡獲得探針模組的針尖影像資料，並發展「最小區間法」的共面度評估程式。為了達到以少量的探針量測點獲得客觀的共面度誤差，本文提出應用「逆向減化」程序，決定探針分析點；然後，全域與區域共面度分析。實驗的結果證明：間距取點法有較佳的評估精度，且只需要總探針數 1/3 的探針量測點即可得到分析平面的共面度誤差，大幅的降低量測成本。

關鍵詞：微探針模組、光學影像量測、共面度誤差、最小區間法。

Coplanarity Evaluation for Micro-probe Module Using Minimum Zone Criteria

D.Y Chang*, T.C. Wu, B.K. Tsao
Department of Mechanical Engineering, Chinese Culture University

Abstract

Wafer testing requires a probe card with micro-probe module as a contact media between the test machine and weld pads to detect the electric signals from weld pads. Because the complexity in IC design and the narrow pitch requirement, a virtual probing surface is formed by the needle tips. Flatness of the probing surface affects the probing correctness significant; that is ‘coplanarity’. To develop a non-contact measurement system for coplanarity evaluation is important in micro-probe fabrication. This study applies 3-D optical image microscope to catch needle tips image and develops evaluating program by the minimum zone criteria to calculate the surface’s coplanarity. In order to achieve the goal of using the least probe measuring probes to derive an reliably evaluation, this study uses the ‘data simplification’ process in ‘reverse engineering’ to determine the measuring probes. Then, a global analysis and a local analyses are implemented. Experimental results showed that the ‘span simplification’ has a better evaluating accuracy than the ‘factor simplification’, and only one third of the total probes are required to obtain a objective coplanarity of the probing surface. The measurement cost is reduced substantially.

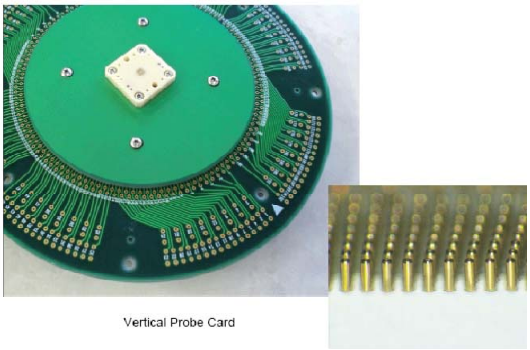
Keywords: Micro-probe module, Optical image measurement, Coplanarity error, Minimum zone criteria.

一、前言

晶圓測試所採用的探針卡主要可分為：懸臂式與垂直式兩種型式，影響探針面的因素包括：探針製造水準、探針定位誤差、針尖研磨尺寸、垂直式 Cobra 探針的針腹曲率、以及探針端部定位狀況等。Comeau 與 Nadeau [1] 推導出針測行程(overdrive)對探針尖端受力與位移的數學模型；Borz 與 Rincon [2] 提出針尖與焊墊的接觸理論，並探討測試過程中溫度的上升量對探針接觸阻抗的影響；Takemoto 等[3] 探討懸臂式探針針尖型式對鋁焊墊的塑性變形量之影響，以及針尖的表面粗糙度與鋁材黏附量的關連性；Chang and Choi [4] 建立探針懸臂式探針針尖的有限元素分析模型，分析探針幾何參數對針尖受力的影響。其他尚有關於垂直式探針卡(vertical needle)[5-6]、微彈簧式探針(micro-spring needle)[7]、熱致動式微機電探針卡(thermally actuated microprobes)[8]之研究成果發表。

IC 設計的日趨複雜、焊墊的空間縮小，百微米直徑的探針模組它的針尖會形成一虛擬探針面，探針面的平整性對測試結果的正確性影響很大，也就是共面度誤差。針尖共面度的控制是一項很複雜的問題，如何設定探針製作與組裝公差；如何建立共面度的評估方法；發展一套精密的量測與評估系統為「微探針模組」設計、製造、檢測上的重要課題。

一般探針直徑在 75~125 μm 之間，針尖與銲墊接觸面在 $\phi 30\sim 35$ μm 間，依 IC 設計在 20×20 mm^2 面積上有 2000~7000 組的高密度探針分佈。探針針尖所形成之虛擬平面的共面度將直接影響到測試的結果。圖一所示為垂直式探針卡



圖一 垂直式探針卡 [9]

一般共面度誤差的檢測方法，乃在設定的檢測間隔位置以三次元量床得到指定位置的高度座標，然後再以最小平方法或最小區間法進行誤差計算[10]。取點的方式有米字型法或井字型。但此法本研究並不適用，因為微細探針模組所形成的虛擬探針面，必需應用非接觸式的量測方式才能取得探針高度，且眾多針尖的量測費時耗力。

影像量測在光源與取像技術的改善，應用層次有了很大的進展。Fan 與 Shiou [11] 發表應用平行光掃描系統，量測中型平面的平面度。Su 等[12] 發表利用工具顯微鏡的視覺系統建構微鑽針的刀腹磨耗檢測系統，刀具磨耗量會直接影響加工品質 Lee 等[13] 建立影像視覺系統量測複合材料微沖剪製程產品的毛邊情形，以判定模具切刃邊狀態；Dworkin 與 Nye [14]發表應用影像量測法，建構熱鍛成形件非接觸輪廓檢測設備。

高密度探針模組常應用於晶圓測試探針卡與電子連接器的訊號傳輸上，探針針尖所形成的虛擬平面，由高密度的點群資料所組成，針尖群的共面度對模組的功能品質影響很大。本研究應用三次元光學影像顯微鏡進行探針針尖的影像量測，並發展以「最小區間法」之共面度評估程式。透過「探針量測點減化實驗」，進行區域與全域共面度分析，可以應用少量的探針分析點獲得可資參考的共面度誤差，對探針卡的製作、檢測、維修都有很大的助益，本研究提供微探針模組共面度檢測的完整方案。

二、探針針尖位置影像量測

本研究使用英國 Vision Engineering 光學系列 HAWK 工具顯微鏡，進行探針針尖的非接觸影像量測(參圖二)。該設備採用動態光學投射技術(Dynascope)、300 萬畫數 CCD 鏡頭 (2048*1536)，提供高對比及高解析度的觀測，可獲取待測物體的清晰圖像；並具備極高的重複性精度±0.002mm，光學解析度為 0.001mm，目鏡倍率為 10 倍，可更換高倍率物鏡，最高放大倍率達 1000 倍。本研究在 500 倍的放大倍率下進行探針模組量測，可以得到探針尖點的座標值。

圖二 光學工具顯微鏡

圖三為探針模組的實際量測圖，調整顯微鏡的高度手輪，根據探針針尖面的對焦狀況，可以測得針尖的高度(z 軸座標)。

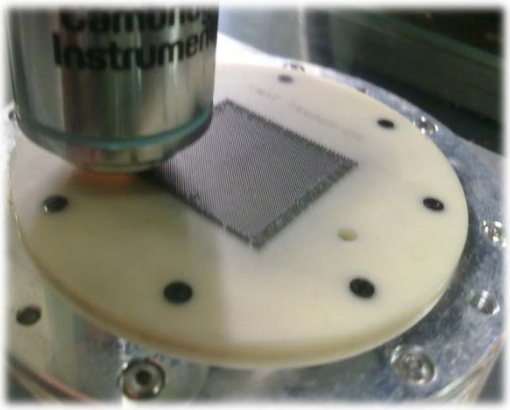
如圖四中 A、B 上下相鄰的兩組探針，圖左的影像(A1,B1)為聚焦於 probe-A 的影像，此時 probe-B 處於非聚焦狀態；運用系統的圓形模板框選探針頂部區域，根據輪廓上的 81 筆點資料，得到探針頂面直徑與圓心座標值，z 高度為 3.559。然後，調整焦距手輪，聚焦於 probe-B，如圖右的圖像(A2, B2)，此時 probe-A 於非聚焦狀態，可以根據 74 筆輪廓點資料測得探針頂面的 z 軸高度為 3.554。於 500 倍鏡頭下，有足夠的量測能力得到二者的高度差。本例中兩根探針的高度差為 0.005mm。

三、逆向資料點減化

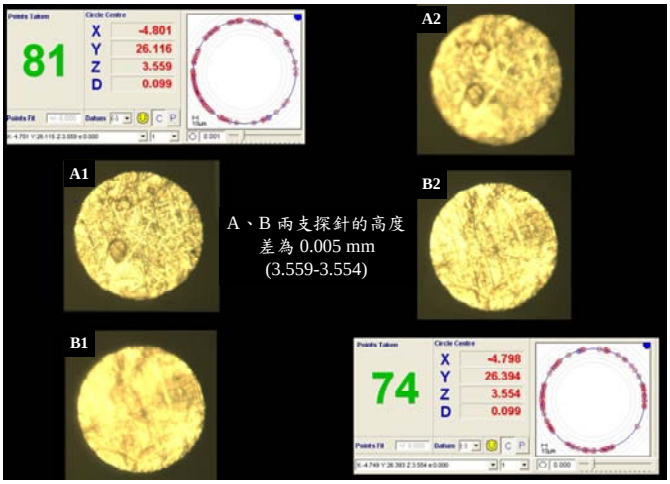
本文提出應用「逆向資料點減化」程序決定探針量測點，採取「倍率取點」與「間距取點」兩種方法；另一種在逆向工法中常用的弦高法(chord height method)，由於探針針尖的高度差太小了，效應不大，不予討論。期望以少量且有效的點資料進行探針針尖的共面度評估。

(一) 倍率取點法

倍率取點法乃設定「倍率因子」(n)，以達到減少資料點的目的。依探針編號取得第一組探針量測點，然後每隔 (n-1)支探針，決定次一個探針量測點。倍率因子愈大，資料點的數目會減少，但是也容易遺漏重要控制點，在曲率變化大的案例中，會有明顯的評估誤差；若倍率因子取小，也會失去減化的意義。倍率法適用於曲率變化不大，且需要快速簡化的場合。



圖三 探針模組量測圖



圖四 探針針尖對焦圖，A1、B2於聚焦狀態

(二) 間距取點法

間距取點法乃設定一個平面的「取點間距」(s)，做為探針減化的判斷依據。依照探針編號取得第一組探針量測點，做為減化的基準點，計算它與其它探針的Euclidean distance (d)，d值小於取點間距值(s)的探針點即予以刪除。

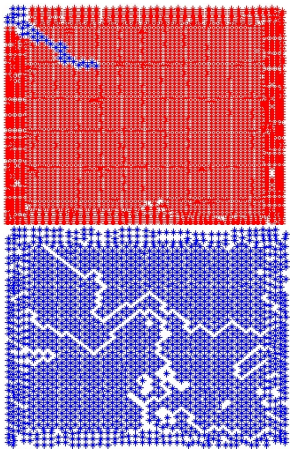
$$d = \sqrt{(x - x_0)^2 + (y - y_0)^2} \tag{1}$$

然後，設定與基準點最近的探針點為次一循環的減化基準點，同樣的再執行探針群的間距評估。重覆進行，直到所有保留的探針點的間距值均大於取點間距為止。

圖五(a)最左上方的探針點設定為第一個判斷基準點，設定容許間距值設為0.4，距離小於此間距的探針點予以刪除，完成第一次的減化。在保

留的探針中，選取與基準點最近的點爲次一判斷循環的基準點，圖中爲已完成37的決策循環所得到的資料點分佈圖；圖五(b)所示爲完成減化程序後所留下的探針點，共有1650點。

間距法可以得到均勻分佈的探針資料點(以x-y平面爲基面)；但是，曲率變化大時，也可能忽略過關鍵的曲線和曲面控制點。本文以MATLAB爲系統程式。



(a) 37點　　(b) 1650點

圖五 區間取點法示意圖

四、共面度評估

(一) 最小區間法–直線度誤差評估

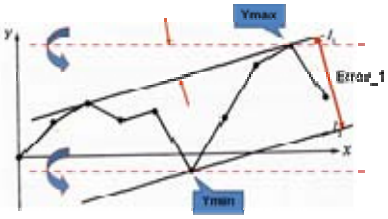
本文根據 ISO R1101 以最小區間法(Minimum zone criteria)進行探針的共面度評估。圖六所示爲以最小區間法評估真直度誤差，有四個執行程序：

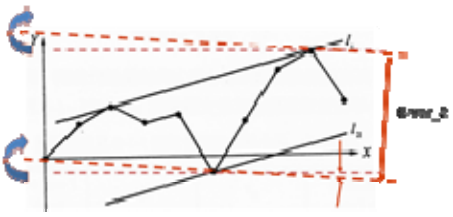
(1) 根據量測點的最大值(Y_{max})與最小值(Y_{min})建兩條水平線。

(2) 以 Y_{max} 與 Y_{min} 爲基點旋轉這兩條線，直到碰到第三點爲止，得 Error_1。

(3) 同(2)之程序反方向旋轉，得 Error_2。

(4) 真直度誤差爲 max (Error_1, Error_2)





圖六 最小區間法真直度誤差評估程序

直線 l_1 與 l_2 將包含所有量測點，且兩線間的距離爲最小。

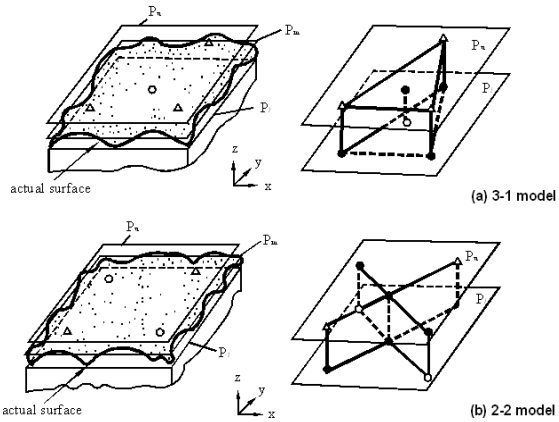
(二) 最小區間法–平面度誤差評估

以最小區間法評估平面度誤差的方法與前述真直度誤差的評估方法相似，不同的只是將線的點與控制線資料以面的點與控制面取代，並且需以符合最小偏差的理想平面做基準(參圖七)。兩平行面 P_u ,P_l 間包含所有的量測點，且兩平面間的距離爲最小。評估時有三大準則【10】:

(1) 在兩個平行面間至少有四個接觸點，形成 3-1 模式 (三點在上平面，一點在下平面；或二者對調)或 2-2 模式 (兩點在上平面，兩點在下平面)。

(2) 當 3-1 模式時，將接觸點投射到上平面或下平面時，獨立的單點必在另一面所形成的三角形內部。參圖七(a)。

(3) 當 2-2 模式時，將接觸點投射到上平面或下平面時，同側兩點連線所形成的接線並定會相交，參圖七(b)。



圖七 最小區間法評估平面度誤差

詳細的評估過程可分成兩個程序來討論：【10】

1. CPRS(Control plane rotation scheme) 2-1 模型

如圖八所示，先計算出最小平方面(P_{lsq})，並根據最高點與最低點定出 P_u 與 P_l，然後依逆時針

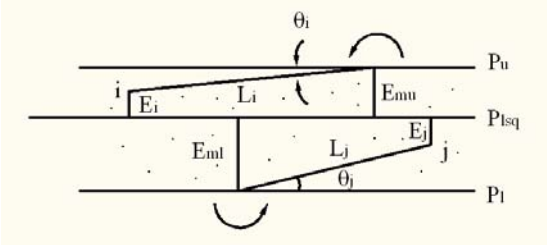
方向旋轉，以尋找第三點，上平面所找到的點記為 i，下平面所找到的點記為 j，分別計算各點之旋轉角度：

$$\theta_i = \sin^{-1}\left(\frac{E_{mu} - E_i}{L_i}\right),\quad \theta_j = \sin^{-1}\left(\frac{E_{ml} - E_j}{L_j}\right) \tag{2}$$

而 θ_i, θ_j 中最小者，記為：

$$\theta_I = \min(\theta_i),\qquad \theta_J = \min(\theta_j)$$

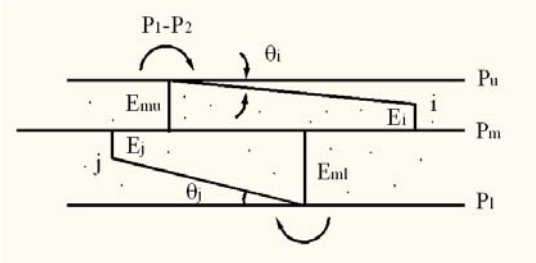
雖然兩個控制面皆會產生一個第三點，我們只需要一個接觸點做為 2-1 模式所需的控制點，選擇 θ_I，θ_J 中小者。



圖八 CPRS 2-1 模型搜尋圖

2. CPRS 2-1 模型 至 3-1 模型 或 2-2 模型

根據(2-1 模型)尋找第四控制點，如圖九所示。本階段兩控制平面間第四點的取法與前階段的取點原則相同，所以可能產生 3-1 或 2-2 兩種狀況。



圖九 決定第四控制點

在 3-1 模式中，假設 $P_1(x_1,y_1,z_1)$, $P_2(x_2,y_2,z_2)$, $P_3(x_3,y_3,z_3)$為不在一線上的三個已知點，且位於上半控制平面；$P_4(x_4,y_4,z_4)$為下半控制平面的一點，則最小平方面(P_m)的係數 a,b,c 可由下式求得：

$$a = \frac{(z_2 - z_3)(y_3 - y_4) - (z_3 - z_4)(y_2 - y_3)}{D_1} \tag{3}$$

$$b = \frac{(x_2 - x_3)(z_3 - z_4) - (x_3 - x_4)(z_2 - z_3)}{D_1} \tag{4}$$

$$c = \frac{(z_1 - z_2) - a(x_1 + x_2) - b(y_1 + y_2)}{2} \tag{5}$$

其中 $D_1 = (x_2 - x_3)(y_3 - y_4) - (x_3 - x_4)(y_2 - y_3)$ 。

在 2-2 模式中，假設 $P_1(x_1,y_1,z_1)$, $P_2(x_2,y_2,z_2)$ 為上半平面的兩個控制點；$P_3(x_3,y_3,z_3)$, $P_4(x_4,y_4,z_4)$ 為下半平面的兩個控制點，則係數 a,b,c 可表示為：

$$a = \frac{(y_1 - y_2)(z_3 - z_4) - (y_3 - y_4)(z_1 - z_2)}{D_2} \tag{6}$$

$$b = \frac{(x_3 - x_4)(z_1 - z_2) - (x_1 - x_2)(z_3 - z_4)}{D_2} \tag{7}$$

$$c = \frac{(z_2 + z_3) - a(x_2 + x_3) - b(y_2 + y_3)}{2} \tag{8}$$

其中 $D_2 = (x_3 - x_4)(y_1 - y_2) - (x_1 - x_2)(y_3 - y_4)$ 。

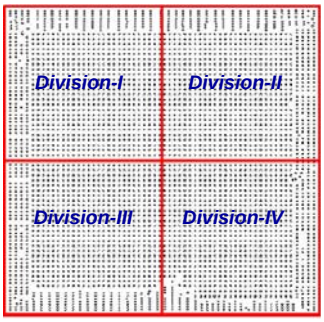
則上下平面方程式分別為：

$$\begin{aligned} c_u &= z_1 - ax_1 - by_1 \\ c_l &= z_3 - ax_3 - by_3 \end{aligned} \tag{9}$$

平面度誤差可由兩平面的最小距離決定。

(三) 區域分析與全域分析

由於探針模組在 $20\times20\text{mm}^2$ 的面積上有 2000~7000組探針的分佈，為了細究共面度的區域效應，本文進行區域與全域兩種分析模式。全域分析即是將所有決定後的量測點皆納入共面度的評估；區域分析乃根據探針的分部區域分為四個子曲域進行評估(如圖十)，以期更能掌握探針群的共面狀態。



圖十 區域分析模式

五、案例分析

(一) 探針針尖實物量測

本文以一組垂直式探針卡的探針模組為分析標的物，共計有3717支探針，如第二節的量測規劃，以陶瓷基板面為 z 軸的高度基準面(圖三)，測得所有探針針尖的高度座標值。

非接觸式影像量測會因為環境或人為因素而造成量測誤差，在高密度的微細尺寸量測中更應注意。為避免影像雜訊造成量測與分析誤差，擇取探針尖點Z軸高度於平均值±3倍標準差內的探針為有效的探針資料點，進行探針面的共面度分析。

探針針尖形成一個虛擬平面，此平面的平面度可用來表示探針針尖的共面狀態，針尖高度由Z軸座標值取得。本例中，以3715支探針進行探針面的共面度分析。

(二) 探針資料點減化

本文應用「倍率取點法」與「間距取點法」進行探針量測點減化，以得到能代表平面特性的量測評估點。爲了探討「減化因子」對探針共面度的影響，兩種方法各設定四種減化條件。因本例探針模組的探針群在 x-y 平面上以 0.3~0.4mm 的距離分佈；因此，間距取點法中，將評估間距設定爲 0.4、0.5、0.6、0.7mm。至於，倍率取點法設定於 2、3、4、5 四個觀察值。完成減化後的探針量測點數目如**表一**所列。

表一 探針點減化結果

倍率取點法減化因子	分析探針點數	間距取點法評估間距 (mm)	分析探針點數
2	1858	0.4	1650
3	1239	0.5	1357
4	929	0.6	835
5	744	0.7	798
未減化前探針點數為 3715。			

(三) 探針針尖共面度分析

本文採取最小區間法爲共面度評估法，除了以全部探針點進行分析外，並以四分法進行區域分析。全域分析的結果如表二所列。探針針尖面的共面度誤差爲 0.1097mm。然而，區域分析中最大者爲 0.1125mm，最小者爲 0.1079mm。四分法的平均共面度誤差爲 0.1097mm，各子區域的共面度誤差值將做爲後續「資料點減化」後共面度分析的比對基準。

探針點減化的目的：在運用少量的探針量測點，得到接近於以所有探針的共面度評估結果。爲了評估不同探針點的減化效益，根據表二所得的探針點，進行共平面評估。

表二 以最小區間法評估之共面度誤差 (未減化探針)

全域分析	區域分析 (mm)	
0.1105 mm	I: 0.1093	II: 0.1125
	III: 0.1092	IV: 0.1079
	平均共面度: 0.1097	

1. 全域分析

表三列出兩種取點方法、八種減化法的全域分析結果。根據共面度評估值與目標值的差距，定義出「分析誤差」：

$$Err_{eval} = \left| flatness_{global} - flatness_{target} \right| \tag{10}$$

我們可以觀察到：

(1) 由分析誤差(Err_{eval})可觀察到：探針點數較多時，可以得到較爲完整的平面資訊，共面度的分析誤差較小。

(2) 共面度誤差最小者爲：「評估間距 0.4」與「倍率因子 2」。然而，間距法的評估探針點較爲均佈，可以根據較少的量測點得到與點數較多的倍率法相近之分析結果，節省了 208 組(1858-1650)探針的量測成本。

因此，全域分析中，以「評估間距 0.4」的間距取點法，可以得到最佳的分析結果。

表三 全域分析比較表

倍率取點法				間距取點法			
倍率因子	探針點數	共面度 (mm)	分析誤差 (mm)	評估間距	探針點數	共面度 (mm)	分析誤差 (mm)
2	1858	0.1102	0.0003	0.4	1650	0.1108	0.0003
3	1239	0.1115	0.0010	0.5	1357	0.1120	0.0015
4	929	0.1083	0.0022	0.6	835	0.1083	0.0022
5	744	0.1118	0.0013	0.7	798	0.1114	0.0009
根據未減化的 3715 探針所得之平面度誤差為 0.1105mm。							

2. 區域分析

在區域分析中，由各子區域的共面度誤差計算出平均平面度，用以表示評估探針平面的「共面度誤差」。此外，爲了觀察各區域的評估誤差，根據各區探針資料點減化前與減化後的平面度值計算出「均方誤差」。

$$MSE = \sqrt{\sum_{i=1}^{k} (\delta_{o_i} - \delta_{r_i})^2 / k} \tag{11}$$

其中，δ_{o_i} 爲第 i 個區域的減化前之平面度值，δ_{r_i} 爲第 i 個區域的減化後的平面度值，$k = 4$。表四、表五分別列出兩種取點方法的區域分析的評估結果，可以歸納出下列幾項準則：

(1) 根據各子區域的「共面度誤差」所得的「分析誤差」，可以發現倍率法因點群分析點的均佈性較差，在區域分析中，分析誤差明顯的變動

較大，點數最多的「倍率因子 2」的分析誤差達 0.0028。相對的，區間取點法較為穩定，隨著點數的減少，分析誤差有上升的現象。在均方誤差方面，也有相同的趨勢。

(2) 根據各子區域的平面度誤差，未減化前四個子區域的平面度狀況最差者為 division-II (0.1125，表二灰色部分)，與表五與表六中各子區域的平面度做比對發現：前兩個減化因子條件下，狀況最惡者是一致的(表中灰色者)；但當分析點數目降至 929 時，子區域的平面度也有了很大的誤差。

根據如上區域分析的結果討論，本文認為以最小區間法評估共面度誤差時，應用「評估間距 0.5」的減化方式，根據 1357 個探針點資料進行評估，可以得到足以參考的有效共面度值。

表四 倍率取點法區域分析結果

倍率因子	探針點數	四分法評估子區域平面度誤差		共面度誤差(mm)	分析誤差(mm)	均方誤差(mm)
2	1858	0.1086	0.1162	0.1107	0.0028	0.0010
		0.1093	0.1087			
3	1239	0.1083	0.1120	0.1081	0.0016	0.0011
		0.1085	0.1035			
4	929	0.1069	0.1063	0.1074	0.0023	0.0017
		0.1074	0.1090			
5	744	0.1066	0.1060	0.1062	0.0035	0.0020
		0.1051	0.1072			
未減化	3715	0.1093	0.1125	0.1097	-	-
		0.1092	0.1079			

表五 間距取點法區域分析結果

評估間距	點數	四分法評估子區域平面度誤差		共面度誤差(mm)	分析誤差(mm)	均方誤差(mm)
0.4	1650	0.1085	0.1114	0.1088	0.0009	0.0006
		0.1071	0.1082			
0.5	1357	0.1059	0.1137	0.1103	0.0006	0.0013
		0.1102	0.1114			
0.6	835	0.1034	0.1073	0.1077	0.0020	0.0016
		0.1051	0.1079			
0.7	798	0.1071	0.1047	0.1074	0.0023	0.0021
		0.1109	0.1067			
未減化	3715	0.1093	0.1125	0.1097	-	-
		0.1092	0.1079			

六、結論

本文開發了最小區間法之微探針模組共面度誤差評估系統，並提出應用「逆向工程」之探針量測點減化程序，決定共面度的評估分析點，可以根據少量的探針分析點得到探針針尖平面的共面度誤差。

經過實驗的結果證明：採用間距取點法比倍率取點法的共面度評估結果為佳。「全域分析」時，建議採用與探針間距相近的 0.4mm 為減化參數。「區域分析」可以了解各分區的平面狀態，當探針量測點減少至全點數的 1/4 以下時 (評估間距 0.6mm，835 點)，子區域的共面度評估值會有較大的誤差。建議的取點方法為：評估間距 0.5mm，根據 1357 個探針分析點 (約總探針數的 1/3)進行共面度誤差評估。

本文的研究成果，提供晶圓針測探針卡之垂直式微探針模組針尖平面的共面度誤差評估方法。

參考文獻

[1] A. R. Comeau and N. Naduau, 1991, “Modeling the bending of probes used in semiconductor industry,” IEEE Transactions on semiconductor manufacturing, Vol.4, No.2, pp.122-127.

[2] J. J. Broz and R. M. Rincon, 1999, “Probe contact resistance variations during elevated temperature wafer test, ” IEEE International Test Conference, pp.396-405.

[3] S. M. M. Takemoto, Y. K. Y. Deguchi, K. Miki and T. Nagata, 2000, “Highly reliable probe for wafer testing,” IEEE Electronic Components and Technology Conference, pp.1152-1156.

[4] D. Y. Chang and Jing-Tung Choi, 2008, “Geometric Parameter Design of a Cantilever Probing Needle used in Epoxy Ring Probe Card,” Journal of Material Processing Technology, Vol.209, pp.38-50. NSC 93-2622-E-237-002-CC3.

[5] K. F. Zimmermann, 1995, “SiPribe – A new technology for wafer probing,” IEEE International Test Conference, pp.106-112.

[6] S. Sasho and T. Sakata, 1996, “Four multi probing test for 16 bit DAC with vertical contact probe card,” IEEE International Test Conference, pp.86-91.

[7] Nicholas Sporck, 1997, "A new probe card technology using compliant microsprings," IEEE International Test Conference, pp.527-532.

[8] Yanwei Zhang, Yongxia Zhang and R. B. Marcus, 1999, "Thermally actuated microprobes for a new wafer probe card," IEEE Journal of Microelectromechanical System, Vol.8, No.1, pp.43-49.

[9] www.yokowo.co.ip

[10] S.T. Huang, K.C. Fan, J.H. Wu, 1993, "A new minimum zone method for evaluating flatness errors", Precision Engineering, 15 (1), pp.25-32.

[11] K.C. Fan, F.J. Shiou, 1997, "An optical flatness measurement system for medium-sized surface plates", Precision Engineering, 21, pp.102-112.

[12] J.C. Su, C.K. Huang, Y.S. Tarng, 2006, "An automated flank wear measurement of microdrills using machine vision", Journal of Material Processing Technology, 180, pp.328-335.

[13] K. Lee, J.C. Lin, S.M. Huang, R.Y. Jou, C.H. Chang, 2007, "A study of relationship between burr and clearance for micro punching dies", Journal of Chinese Society of Mechanical Engineers, 28(2), pp.123-130.

[14] S.B. Dworkin, T.J. Nye, 2006, "Image processing for machine vision measurement of hot formed part", Journal of Materials Processing Technology, 174, pp.1-6.

華岡工程學報第 28 期 民國一百年六月 中國文化大學工學院
Hwa Kang Journal of Engineering, Chinese Culture University 28 (2011) 65-69

太陽黑子 Cycle24 對衛星軌道變化之研析

傅鶴齡、王盈淳*、胡鳴凱、楊皓天
中國文化大學機械工程學系數位機電所
*Email: w28717135@gmail.com

摘要

本文針對環境影響衛星軌道參數作分析，及以福衛三數據作為分析在不同環境下之異變基準。文中所提的環境以大氣密度造成對衛星阻力影響為主。其他干擾的潛在因素，可結合其他運算方程計算出來，本文只討論在衛星長週期軌道附近受太陽黑子的影響之變化。對地球的假設理論為地球是一個橢球形，但根據近來衛星資料分析，地球已不是一個球狀而是呈梨狀，配合不同之大氣模式而讓地球上空之密度較以往為複雜。在地球低軌道 0-1000km（Low Earth orbit，LEO）[1]，大氣密度對衛星影響最為嚴重，而衛星在地球中軌道 1000-10000km（Medium Earth Orbit，MEO）[1]，則加受到地球重力場及太陽與三者之影響較大。由於太陽黑子在 Cycle24 將得到新的高峰。在 1977 年，Skylab 因受大氣不穩定的影響，而提前掉落，所以對衛星來說，環境變化是非常重要的關係。而福爾摩沙衛星三號(FORMOSAT-3)高度約為在 700-800km,如果衛星軌道脫離原先預測之軌道範圍，則在地面無法接收信號，經過一定時間後，該衛星將失去控制。因此，如何利用有效工具及適當的參數來模擬衛星軌跡是非常重要的。本文內容則說明在衛星環境中「太空天氣」對衛星之軌道參數作分析。

關鍵詞：太陽黑子、福衛三號、Cycle24

Satellite Orbital Change Analysis with Parametric Variation Study from Solar Cycle 24

Ho-Ling Fu, Ying-Chun Wang*, Ming-Kay Hu, and Hao-TianYang
Department of Digital Mechatronic Technology, Chinese Culture University

Abstract

This paper contains orbital trajectory analysis and basic simulate program with post-flight satellite data. Atmospheric drag effects on a satellite is usually computed by including a drag disturbing potential with the central body, other disturbing potentials, and integrating the equations of motion else. We are interested only in the long term drag effects on the satellite's perigee and apogee with analytic study by calculating the effect of solar spots. A computer program based on King-Hele's most basic theory of a spherical, atmosphere with constant scale

height and shuttle collect data have been included, and its results are compared with those from different types of atmosphere model. Low-Earth-Orbiting Satellites most affected by the atmospheric density, medium-orbit satellites affected by the Earth's gravity field and atmosphere interactions affect with moon and the distant planet .But all are affected by the active solar flare within the solar system. As the sunspots at Cycle24 will get new height activity in 2013, with the influence of Earth's magnetic field each other, and the effect of Van Allen radiation belt the satellite will affect satellite orbital every month. In 1977, Cycle21 made SKYLAB decay to atmosphere unpredictably, so it is very important to simulate of where the environmental change of the satellite. FORMOSAT-3 is running around the surface height of 700-800km. If the satellite orbit miss-calculation a little, then the signals back to the ground is distorted because of orbital elements changing, then the ground cannot receive signals. Once after a certain time, the satellite will out of control and lost in space. Therefore, how to use and effective program(FUATMOS-2011) with proper parameters to simulate the trajectory is very important. This analysis will contain in this paper.

Keywords: Sunspot, FORMOSAT-3, Cycle24

一、前言

根據美國環境服務中心（Space Environment Services Center，SECE）與美國大氣中心（National Center for Atmospheric Research，NCAR），於 1982 年集會討論所確定 SKYLAB 於 1973 年 5 月 14 日升空，提前於 1979 年 7 月 11 日掉落是因衛星軌道在太空中受太陽黑子變化所影響[2]。

本文以 1755 年至 2009 年的太陽黑子個數最高及最低作比較並參考 SIDC Monthly Smoothed Sunspot Number [3] 得到的太陽黑子 23 個週期與 MSIS-E-90 Atmosphere Model[4] 歷年高度與密度變化作比較所得圖 1。

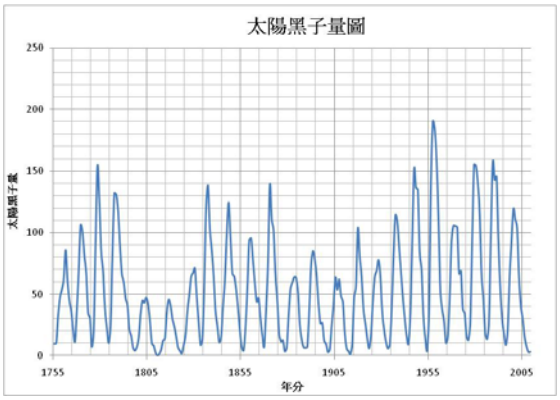


圖 1　太陽黑子 23 個週期數位轉成類比之圖形

在圖 1 中 1755 至 2009 共 23 個週期（cycle），本文先由週期作分析找出模擬之相關重要參數，圖 1 中顯見在 Cycle1（9.6 , 85.9）至 Cycle23（8.6 , 119.6）-（最大黑子數，最小黑子數），從 NOAA 於 2009 年所預測的 Cycle24 如圖 2[5]，下一個高峰可能會出現在 2013 年，本文將以此圖爲基礎作爲爾後軌道模擬之參考用。

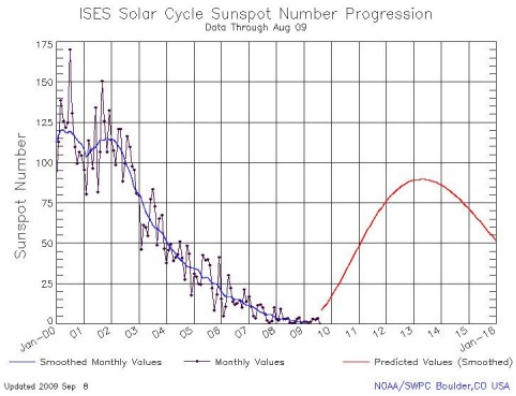


圖 2　NOAA 於 2009 年預測 Cycle24 之曲線圖[5]

二、比較福衛三號與 MSIS-E-90

福爾摩沙衛星三號（簡稱福衛三號），是一顆氣象衛星由中華民國所擁有之科學衛星。福衛三號於 2006 年 4 月 15 日在美國加州的范登堡空軍基地發射成功，預計執行爲期 5 年的科學任務計畫。該衛星主要的任務是進行全球氣象預報、

氣候變遷研究、及大氣電離層動態監測[6]。

本文從 MSIS-E-90 所取得的大氣密度與從福衛三號提供下載取得的電子密度（由 Taiwan Analysis Center for COSMIC（TACC）網站所提供下載）[7] 作比較，如圖 3（2008 年 3 月 26 日）、圖 4（2008 年 9 月 26 日兩天），從圖中可發現在衛星所屬位置高度約 600-800km，電子密度與大氣密度是呈現相似的趨勢。由此可知在一定高度之後電子密度與大氣密度是有相關性的。由此我們也利用福衛三號在 2006、2007、2008、2009、2010 之電子密度做交叉比對及對照 MSIS-E-90 之修正。

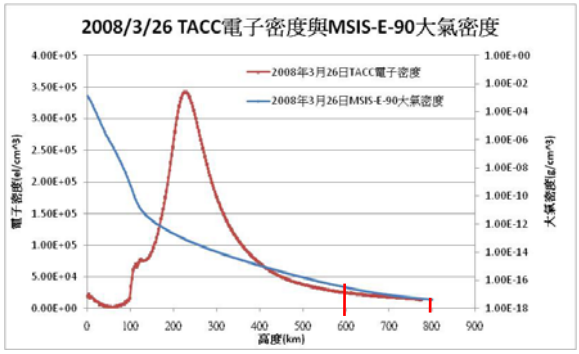


圖 3　2008/3/26 TACC 電子密度& MSIS-E-90 大氣密度比較

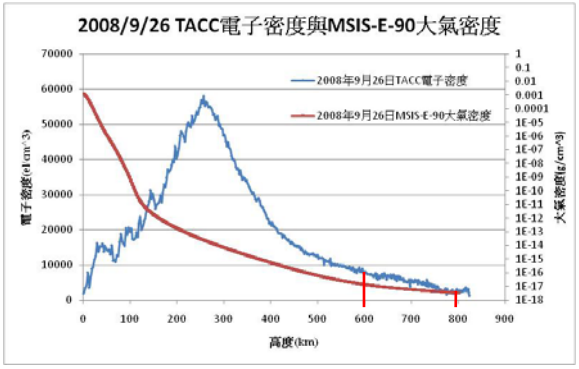


圖 4　2008/9/26 TACC 電子密度& MSIS-E-90 大氣密度比較

三、　加入自行設計之 FUATMOS-2011 程式進行比較

本文以福衛三號及 MSIS-E-90 Atmosphere Model 或地面觀測資料做爲參考資料，本計畫已自行設計之太空天氣資料庫及分析模擬程式（Fu Atmosphere Model 2011，FUATMOS-2011） [8][9] 加入比較 ，以作未來衛星任務分析及系統設計之所需。 FUATMOS-2011 程式主要是以 MSIS-E-90 爲模型經外加數年太空梭資料來分析在地球表面定點上不同高度的大氣環境變化計畫，並且將太陽的 F107A、F107 指數加入變數當中，以分析比較太陽活動對地球大氣特性的影響。

FUATMOS-2011 仍在測試階段，但已能將固定日期的大氣密度與溫度計算出來，本文將其結果與 MSIS-E-90 的大氣密度相比較（如圖 5），以驗證程式的準確度。

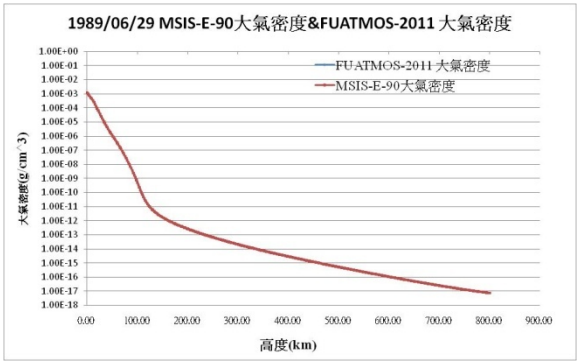


圖 5　1989/06/29 MSIS-E-90 大氣密度& FUATMOS-2011 大氣密度

由上圖 5 可知，在程式 FUATMOS-2011 所計算出的大氣密度與 MSIS-E-90 所得到的是相吻合的，只有很微小的差距。所以在圖 5 中幾乎是呈現重疊狀態，FUATMOS-2011（藍線）幾乎是被 MSIS-E-90（紅線）的曲線給覆蓋住。

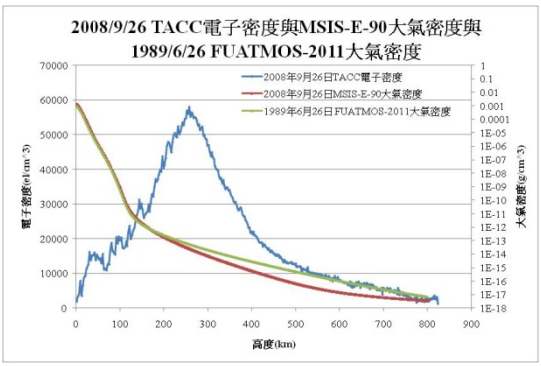


圖 6　2008/9/26 TACC 電子密度& MSIS-E-90 大氣密度與 1989/06/26 FUATMOS-2011 大氣密度對照圖

圖 6 是由圖 4 加入 FUATMOS-2011 後之三方比較圖，藉由圖 4 可發現，其衛星資料與 MSIS-E-90 數據在高度約 600-800km 處，電子密度與大氣密度是呈現相似的趨勢接近，而從圖 5 又得知 FUATMOS-2011 與 MSIS-E-90 數據是極為相同，因此將其二圖合併為圖 6 加以比較，發現雖因日期時間不同，但在 600-800km 電子密度仍然與大氣密度有相同趨勢。

四、 太陽黑子影響電子密度之模擬

本文根據福衛三號所觀測到之電子密度與 MSIS-E-90 的大氣密度作比較（如圖 3、圖 4）；電子密度（或稱為電子濃度）是指在單位體積中的自由電子數，隨著高度的不同而變化，且電子密度與各高度上的大氣成分、大氣密度以及太陽輻射通量等因素有關。

由圖 3 可發現在福衛三號軌道所在高度 700-800km 區域，電子密度與大氣密度呈現相同變化，可知從高度大約在 300km 以上時，電子密度與大氣密度是有相關性的。且大氣密度會因太陽黑子的多寡而不同，所以我們將 2006 年到 2010 年 5 年間每一年的太陽黑子數數量最高時的電子密度即可繪出圖 7、圖 8。

表 1. 每年太陽黑子最高時[4]

年分	第幾天	日期	太陽黑子數
2006	96	2006/4/06	54
2006	307	2006/11/3	44
2007	158	2007/6/7	37
2008	86	2008/3/26	36
2009	355	2009/12/21	30
2010	298	2010/10/25	47

但是因福衛三號是在 2006 年 4 月 15 日發射，所以 2006 年的數據資料只有從第 111 天開始，因此退而求其次取太陽黑子個數第二高的 2006 年 11 月 3 日（2006 年的第 307 天），並將其製成曲線圖，如圖 7。

圖 7 2006 年~2010 年每年太陽黑子單日最多數量（年/月/日,太陽黑子個數）

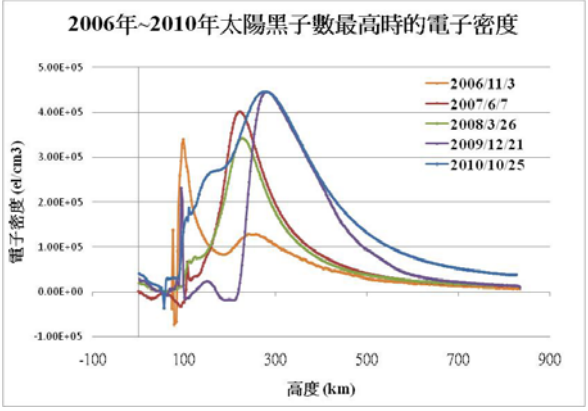


圖 8 2006~2010 電子密度

將圖 8 中的高度為 500km 以上的部份放大成下圖，如圖 9。

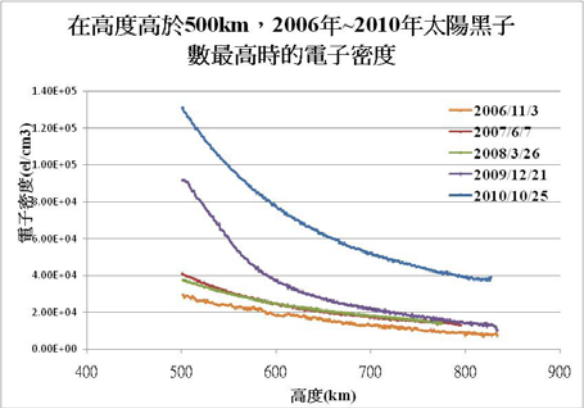


圖 9 2006~2010 高度 500km 以上電子密度

由圖 8、圖 9 可發現，在高度高於 500km 時，電子密度會逐漸的受太陽黑子的影響，黑子數越多（如 2010 年 10 月 25 日的黑子量為 47）電子密度也會相對較高。

由此表示我們所利用 MSIS-E-90 爲基礎的程式來分析高度在 700-800km 這段福衛三號所在範圍是可行的。（圖 10）

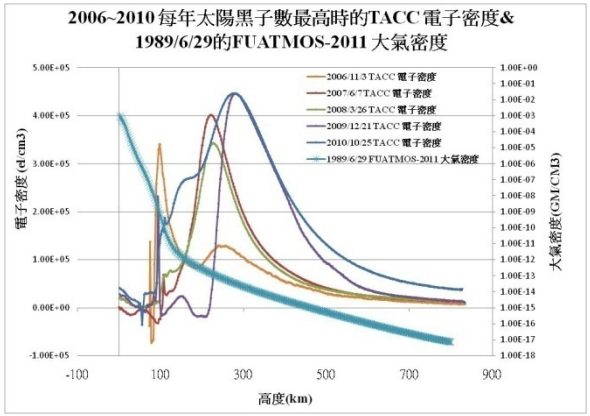


圖 10　2006~2010 電子密度與 FUATMOS-2011 大氣密度對照圖

五、　討論及未來發展

在太陽正常的活動下，我們可以得到隨著高度變化的福衛三號的電子密度數據，其數據在高度 600km 以上與 MSIS-E-90 是相似的，如圖 3、圖 4；而從 FUATMOS-2011 程式中得到的數據也與 MSIS-E-90 相似，如圖 5。因此對於太陽黑子的第 24 個活動週期，我們可以在 FUATMOS-2011 程式中加入模擬，發現當太陽黑子數偏高時會影響電子密度（如圖 8、圖 9、圖 10）特別是在 FORMOSAF3 的環境範圍約是高度 500km 以上的電子密度的趨勢幾乎與空氣密度相同，因此可將這範圍中的電子密度來代替大氣密度。下一步將把此程式 FUATMOS-2011 加到動力程式中作全系統模擬以求取福衛三號在 Cycle24 下可能之軌道變異量。

誌謝

衷心感謝財團法人國家實驗研究院國家太空中心（中華民國國家太空中心）全力支持此計畫-NSPO-S-099103。

參考文獻

[1] 財團法人國家實驗研究院國家太空中心 National Space Organization (NSPO), Taiwan, R.O.C. “www.nspo.org.tw/2008c/services/faq.htm”

[2] www.pao.ksc.nasa.gov ,2010

[3] SIDC-Solar Influences Data Analysis Center “http://sidc.oma.be/sunspot-data/”

[4] “Geomagnetic Services Provided by The Space Environment Services Center ”Proceedings of Satellite Drag” SESC, Boulder, Colorado, USA 1982

[5] Solar Cycle 24 Prediction Updated May 2009 “http://www.swpc.noaa.gov/SolarCycle/SC24/index.html”

[6] 財團法人國家實驗研究院國家太空中心 National Space Organization (NSPO), Taiwan, R.O.C. “http://www.nspo.org.tw”

[7] Taiwan Analysis Center for COSMIC (TACC) “http://tacc.cwb.gov.tw/”

[8]Ho-Ling Fu, “Modeling Design For Satellite Aero-braking Simulation” 93-3586, Flight Simulation technologies Conference, LA, USA,1993

[9]Ho-Ling Fu, “On the High Eccentricity Aero-braking Orbit Transfer Problem with Parametric Analysis and Numerical Study”, AAS-93-173, AAS/AIAA Spaceflight Mechanics Meeting, Pasadena, Cal, USA, 1993

華岡工程學報第 28 期 民國一百年六月 中國文化大學工學院
Hwa Kang Journal of Engineering, Chinese Culture University 28 (2011) 70-79

植基於腦波機之無線遠距醫療系統

劉仲鑫 [1*],曾文彥 [2]

[1] 中國文化大學 資訊科學系

[2] 中國文化大學 資訊管理研究所

*Email: liu3.gold@msa.hinet.net

摘要

本研究模擬兩位以上的患者同時接受腦波機治療時，透過無線網路DSDV(Destination-Sequenced Distance-Vector)路由傳輸協定傳送資料，以了解是否能得到穩定的傳輸效果。在本實驗中，我們使用 802.11g 的無線網路傳送協定。實驗環境設置一個接收節點模擬腦波接收機，另一個傳送節點模擬受測者發送訊號。再逐一增加受測者的數量，分析包含封包接收率，吞吐量與封包延遲。經模擬實驗的結果得到無線隨意網路可以提供穩定的資料傳輸，因此，接受腦波機訓練的學員，不一定需要留在醫療院所中才能接受治療。只需要將相關設備，移至學員日常所至的環境如學校，或是家裡，即可進行治療。如此可使接受腦波機訓練的學員，在較舒服的環境中接受治療，並幫醫療院所節省使用空間的成本。

關鍵詞：網路服務、遠距醫療

Use EEG Machine for the Study of Auxiliary Telemedicine System

Chung-Hsin Liu[1], Wen-Yen Tseng[2]

[1]Department of Computer Science, Chinese Culture University

[2]Department of Information Management, Chinese Culture University

Abstract

In this study, we simulated more than two patients receiving EEG machine signal at the same time, by using DSDV (Destination-Sequenced Distance-Vector) routing protocol. The purpose of this experiment is to know whether the wireless ad hoc network could provide stable data transferring performance. In this experiment, we used 802.11g transfer protocol for wireless networks. Every experimental environment sets a receiving node, simulating EEG machine. A node for transmission is to simulate student to send signals. Then, we increase the number of nodes one by one, analyzing the packet receiving rate, throughput and packet delay. The simulation and experimental results of the wireless ad hoc network could provide stable data transmission. The students using EEG machine for concentrating training, do not necessarily need to stay in the hospital to receive treatment. The wireless telemedicine system will allow concentrating training to take place everywhere. It will make students more comfortable and save hospital costs.

Key words: Network service, Telemedicine System

一、前言

近年來老年人口比例逐年升高，內政部統計資料至 2007 年，台灣 65 歲以上老人人口數已超過 231 萬人，占總人口比率為 10.09%，依據行政院經建會所作的推估，2017 年台灣老年人口將會逼近 14%，預估到 2025 年老年人口比例即將達 20%，台灣人口老化速度將成為全球之冠。隨著人口快速老化以及疾病型態的慢性化，台灣地區身心障礙或老年人口也快速地增加，使得長期照護需求殷切。

此外，國內目前約有百分之五到十的兒童，有專注力失調的困擾，這些小朋友常常會有注意力不集中、分心、忽略細節、對事物興趣較低等等問題，如果沒有加以注意或治療，不僅影響學習，日後還會影響到人際與互動，或是狀況延伸到青少年甚至是成年時期。關於腦波運用於特殊幼兒的研究，開始有黃蓉蓉等[10]針對腦波中的長程聽覺誘發波之變化來探討注意力缺陷過動症(Attention Deficit Hyperactivity Disorder; ADHD)兒童的腦波特徵。而由於醫療院所空間的限制，若能將有需要經由腦波訓練的學童，集中至不同的場所，如學校教室進行訓練，輔以遠距醫療系統透過網路傳輸功能，同時讓醫療院所的專業人員能即時看見學童的訓練結果，相對可以為醫療院所與兒童家長節省時間與往來醫療院所長途跋涉的成本。

以美國為例，遠距醫療居家照護市場，預計至 2025 年的年成長率可達 20%以上，而政府亦將「遠距居家照護服務」列為我國 2008 年新興服務產業的發展計畫之一，成為國家發展重點計畫中名列的新興服務產業，並預估於 2010 年，台灣遠距居家照護市場即可達 70 億元的規模。綜合以上，可以發覺目前國內「遠距居家照護服務」市場正在起步，相關經營模式與技術研究有待整合、而將無線網路技術應用於遠距醫療與遠距照護正是目前努力的方向。盡管如此，醫療院所內的設備使用率，仍需要透過適當的設計與建置來達到最高的效益，以期能提高服務品質。

二、文獻探討

本文將針對腦波測量及腦波機運用於專注力訓練做簡單說明，再介紹無線感知技術發展與應用情形，及所使用網路服務的基本原理與整合技術，之後再針對本研究所提出的使用環境，進行模擬實驗及分析數據，包含封包遺失率，吞吐量，封包延遲。來了解實際環境架設時，如何達到最大的效益。

（一）神經測量系統

相對於大腦的神經系統來說，測量神經系統的活動也有不同的測量系統。首先在身體神經系統中所使用的測量儀器有所謂的肌電波(Electromyography; EMG)及眼電波(Electro ocular graph; EOG)兩種。其次在自主神經系統中，較常使用的測量系統則包含：心跳率、血壓、膚電反應、血量、眼球反應等。這些工具無法測量出腦部相關的學習情形，因此本文暫不針對此部分討論。而在中樞神經系統的測量上，大部分可以分為腦波(EEG)或是檢測腦部神經活動歷程磁場變化的磁波(MEG)。近來由於腦部影像技術的成熟與進步，電腦斷層掃描(CT scan)、核磁共振造影掃描(MRIscan)，以及正子輻射斷層掃描(PET scan)比起腦波和電磁波的空間解析度(spatial resolution)有較佳的表現，但是在時間的解析度(temporal resolution)則沒有腦波測量的結果好用。

然而研究較少採用電腦斷層掃描、核磁共振造影掃描，以及正子輻射斷層掃描的原因是這三種儀器的成本相當昂貴，尤其是核磁共振造影掃描，以及正子輻射斷層掃描的設備，價格常在數百萬美元起跳，並非一般研究負擔得起。研究較常用的腦波測量則是因為在時間解析度相當的情形下，雖然電磁波的空間解析度優於腦波，但是電磁波儀器的價格卻遠高於腦波儀器，因此大部分研究在探討中樞神經系統的活動情形時，大部分採用腦波來做為檢測。另一方面，為了克服腦波在空間解析度不足的情形，現已有利用多個頻道記錄生物物理，另外數學方法所發展出來的技術使得腦波空間顯像已進步很多。在中低價位中樞神經系統活動的研究佔有

一席之地[7]。

（二）腦波

一般所稱的腦波是腦的神經細胞共同產生的電波，它代表腦的是腦部的活動訊息，因此腦波的波形可以用來判斷大腦功能是否正常的重要依據。腦神經細胞在正常狀況下， 腦膜內部的電位約爲負的50-100mV ， 這樣的電位差稱爲休息電位(Resting Potential; RP)。休息電位會因爲別的神經細胞間的接點傳入脈衝，引起後突觸電位(Inhibitory Post Synaptic Potential; IPSP)的變化而起伏。當這些後突觸電位經過時間與空間的整合後，就會使得神經系統細胞產生一種歷時短暫的活動電位，而腦波所測得的電位數值，大部分是屬於後突觸電位，而不是活動電位[7]。而腦波的形狀在觀察的過程中，觀察的重點在振幅和週期兩個單位。振幅是指由波峰到波底的高度，測量的振幅單位非常小，其單位爲微伏特(μV)，腦波振幅通常小於 100μV。週期是從一個波峰或波谷到另一個波峰或波谷之間的距離，其單位爲毫秒，稱爲一個週期。在分析腦波時所用的頻率面分析則是以一秒內有幾個週期來計算頻率，可以用 Hz 或 c/s 來表示[5]。根據國際腦電圖學會命名委員會的分類，腦波可以分爲四種基本波形：(1)δ 波：低於 4Hz，屬於徐波，(2)θ 波：4Hz 到 8Hz 之間，也是屬於徐波，(3)α 波：8Hz 到 13Hz 之間，(4)β 波：高於 13Hz 的快波。一般而言，α 波一般稱爲「標準波型」，因爲 α 波在人類清醒、安靜和閉眼時，可以利用腦波機在受試者腦部皮膚量測到 10Hz 左右，約 50μV 的信號，其波形往往左右對稱並會連續出現，而且振幅會像潮汐一樣規律，所以稱之爲「標準波型」。事實上，α 波是最常被用來作爲腦神經激發(activation)狀態的指標。大約四分之三的人在清醒與放鬆的狀態下，可以在功率圖上看到 α 波的出現，因此業常用來判斷受測者的狀態是否爲清醒或是放鬆。α 波的產生原因，大部分的研究者較傾向於是大腦皮質的錐狀細胞(pyramidal cells)同步活動所產生的結果，而錐狀細胞的活動會受到視丘上的步調調整神經(pacemaker neurons)之影響[1]。而 α 波的波幅會因感官刺激、自主動作、以及認知活動而降低[2]，因此，當 α 波的波幅處於較高的頻率時可以推論腦部狀態是相對地處於放鬆狀態。相反地，如果 α 波的波幅降低，則顯示腦部處於激發或是興奮狀態[8]。

另一個較常測量的波爲 β 波，β 波被稱爲「活動波型」或「賦活波型」，其原因乃由於受試者的 α 波在打開眼睛進行意識的相關活動，或者受到外來刺激時，α 波就會減少發生，取而代之的是以振幅速波的 β 波。甚至，如果受試者過於興奮或者反應相當機警敏時，β 波又會被 γ 波所取代，因此 γ 波又稱爲「興奮波型」，但是 γ 波並沒有被國際腦電圖學會命名委員會分類，是比較少用的波型。最後，θ 波和 δ 波是屬於「睡眠波型」，這種波型通常發生在受測者睡眠狀態才可能發生。文獻中也有很多是針對運動技能執行前之心智狀態與運動表現進行相關的測試[11]，這類研究通常以測量腦 α 波爲主，因爲腦部的 α 波是放鬆精神的指標，在放鬆而且心無雜念時，也就是在專注力達到最高時，運動選手才能發揮最佳狀態。例如射擊選手在做瞄準與射擊時的心智狀態，他們需要集中精神，也因此的腦 α 波必須增加，否則難以命中目標。而這類研究擴大研究腦 α 波的方向，例如：開始有研究者探討如何增加腦 α 波來穩定受測者情緒或者降低壓力。在吳水丕等研究者的研究[5]中，他們利用坐禪來比較訓練組與控制組的腦部 α 波活動情形，研究結果顯示，訓練組在坐禪後其腦部 α 波尖峰功率有下降趨勢。而有過坐禪經驗的組員，其腦 α 波尖峰功率則顯著地比控制組與訓練組來得更低，而且隨 β 波的消失，α 波可立即增加，研究者證實坐禪對於身心靈方面均有正面功效，對於受試者的專注力也有正面的效應[9]。至於腦 α 波，李嗣涔及石朝霖[4]在研究中指出有心電感應的學生，他們的 α 波無論是否在實驗中，其平均尖峰振幅均低於 4μV，與「入定態」時的腦波十分相似，因此研究者認爲腦 α 波可以用來判斷一個人，是否很容易可以開發出心電感應的能力。另外，研究者也發現具有念力的人，頭部周圍磁場會有改變，而且在臉部旁邊約兩公分處可以量到的最大磁場爲 115 高斯。這些研究結果都可以證明腦波在某些領域或狀態是可以被訓練甚至是控制的，尤其是 α 波，與專注力和放鬆有著極大的關係。當學習過程中，如果可以控制降低 α 波的尖峰振幅，讓小朋友的專注力增加，無形中，幼兒的學習能力會隨之增加，相對地無法學習而引發的行爲問題也會減少。然而，僅有少數的研究結果支持這樣的理論。

此外運動員注意力佈署和反應預備狀態研究也又一些學者提出了一些具體結果，例如：量測大腦注意力的準備不光只有 α 波而已，腦波誘發電位(Event-Related Potential; ERP)也是一種方式，ERP 是對內在或外來刺激的腦波反應， 而單側化準備電位(Lateralized Readiness Potential; LRP)則是動作執行準備的訊息[8]，當運動需要在技能執行前有一段靜止時間者，通常都適合以 ERP 及 LRP 來量測選手在不確定的情境下，如何佈署注意力及如何做反應、執行、預備等運動技能機轉。目前有被研究過的運動種類包含：射擊、射箭、高爾夫求推桿、空手道、舉重等。測量腦波目前有兩種常用方法：雙極誘導法(bipolar recording) 及參照點誘導法(referencing recording strategy)。雙極誘導法是利用各個電極爲配對組的方式，而另一種參照點誘導法則是以一個電極爲共同的參照點，而後者是較爲普遍的研究腦波方法[8]。在測量前，電極必須先固定在頭皮上的特定位置，在注入可以傳導電流的物質，如：導電膠後進行測量。重要的是電極放置的位置會影響研究結果的比較，因此電極放置的位置有標準化的位置與方法。但兒童因爲較爲好動，且專注力較爲薄弱，因此本研究的電極放置位置必須進行調整，分別在左顳葉及右顳葉各一個信號點、前額中心一個參考點及前額左側一個地線，共四個電極片貼點，如圖 1 所示。如果怕受到眼球活動電位影響，則將參考點改貼於枕葉中心線上，相對位置如圖 2 所示。電極所感應到的腦波並無法直接分析，而必須經過數千或數萬倍的增幅(amplification)放大後，再濾去不必要的干擾訊號，之後，再經數位化轉換後，再輸出到顯示系統和儲存系統，最後得到的資料可以作爲即時觀察或大量分析之用。

目前腦波分析較常採用的方式也有兩種：時間面分析(tune domain analysis)及頻率面分析(frequency domain analysis)。時間面分析以事件相關腦波 ERP 爲代表，ERP 是腦波對於事件刺激後的反應程度，ERP 中的 P100 是腦波在視覺刺激呈現後約 70-110 微秒，其最大反應幅度出現在枕葉第一視覺中樞側面的一個正極(positive polarity)反應，而 N100 則是腦波在視覺刺激呈現後約 90-130 微秒，在枕葉第一視覺中樞側面所出現的一個負極(negative polarity)反應，這兩個 ERP 成分的幅度隨著受視者的注意力變化而加大，因此可以作爲注意力量測的重要指標。但是，ERP 很難由一次的腦波反應中看出，因此必須進行多次實驗所引發的腦波反應加以平均。ERP 必須藉由測量某波段的尖峰、高度或潛伏期間，來推測大腦處理該刺激訊息之狀態。另一種頻率分析則以頻譜分析(spectral analysis)爲代表，其主要的分析方法，就是將腦波分解成頻譜功率圖(spectral-power plot)，再以統計方法比較不同組別或情境，在某一點或某段頻率之平均功率差異情形，並可據此推測其相對應之心理狀態。

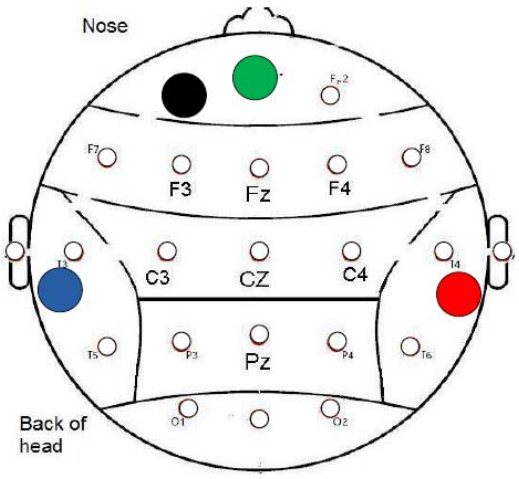


圖 1 電極貼片位置圖

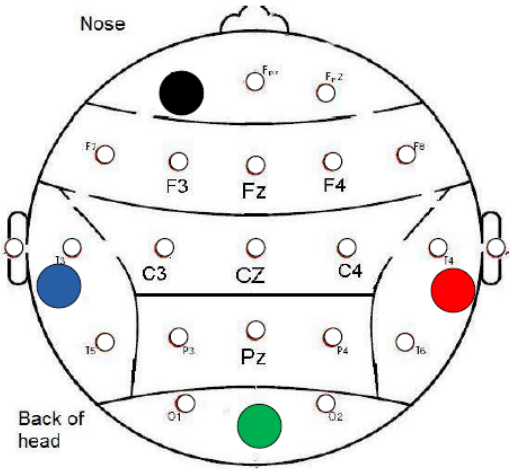


圖 2 避開眼球活動電極片貼位置圖

而在設備的部份，已有廠商利用上述理論實作出腦波量測設備，用來進行人類意識變化的觀察，並可顯示相關波型在電腦上如圖 3 所示，可針對不同的腦波受訓人員進行觀察。

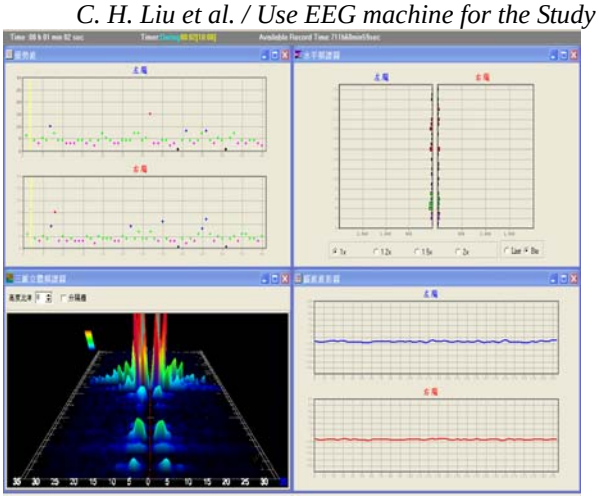


圖 3 腦波機運作圖

（三）網路服務

本研究利用網路服務技術，整合現有與開發中的技術，結合腦波蒐集與遠距訓練功能，以加速系統的開發。網路服務是一種軟體元件的概念，它透過 Web 通訊協定及資料格式的開放式標準， 例如 ： HTTP(Hypertext Transfer Protocol),XML (eXtensible Markup Language) 及 SOAP (Simple Object Access Protocol)[3]等，來爲其他的應用程式提供服務。簡單來說網路服務中包含面有兩個重點，一是它是一個提供服務的元件。二是它以 Web 的開放標準爲基礎。

網站就像是建立在 Web 上，整合了一些網路服務元件的一個應用程式系統。更重要的是，透過網路服務的使用，不必擔心這些服務是使用什麼平台、什麼技術來建立，而將來如果有更好的服務或服務提供者時，也可以輕易的將服務更換或更新。對系統的開發者來講，可以快速輕鬆的將系統建構完成，將心思專注在規劃更好、更完善的系統上。對服務的提供者而言，只要能設計出一個好的服務，它的潛在使用者市場將不再受到使用者平台的限制，而有無限的可能[12]。

網路服務是利用 Web 的開放標準爲基礎，主要透過 HTTP 協定和 XML 來運作。但建構完整的網路服務運作還需要更多基礎，以下這些都是以 XML 爲基本語法建立的重要標準，在標準的基礎上進行開發，除有足夠之資源外，對開發者以及系統的管理者來說，也較有保障。

除 SOAP 外還有用到 UDDI(Universal Description Discovery and Integration)，他是提供註冊與搜尋網路服務的標準。另外還有 WSDL(Web Service Description Language)，其爲描述網路服務的運作方式，以及指示用戶端與服務提供者的互動方式。

圖 4 爲上述標準整合在一起後，在網路服務運作中所扮演的角色，以及運作的情形，左半部所標示的是所使用的標準通訊協定。縱向上由左到右表示出網路服務在提供者和使用者之間，運作的幾個主要步驟。橫向上則是每個步驟使用到的標準。其中尋找服務時同時使用到 UDDI 和 SOAP，主要是因爲這裡 UDDI 的目錄服務也是透過網路服務來提供的。

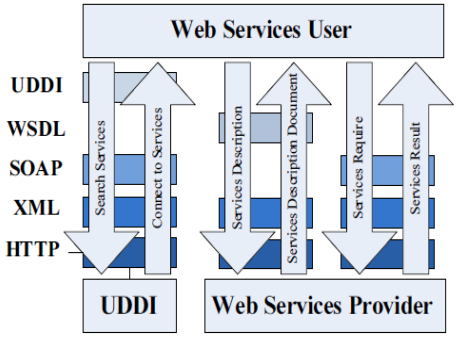


圖 4 標準整合在網路服務運作

由於本系統是建置在 WEB 的基礎之上，希望能在同一時間內對多數的使用者提供服務，藉由無線網路技術，接收來自患者的生理訊號，並加以分析，以腦波機爲例，在醫療院所中，使用腦波機對病患進行治療時，若一次只能一位患者進行治療，對於時間的利用效率是很差的，同時也將增加醫療院所的設備成本，因此本實驗透過模擬的方式，先行模擬多人使用環境，以尋求建置醫療系統的最大效益。

（四）無線隨意網路

在 802.11 的標準中，定義了兩種基本服務組合(BSS)。第一種：中控型基本服務組合(Infrastructure BSS)，主要是由 AP 負責中控型網路中所有的傳輸。第二種：基本服務組合爲獨立型基本服務組合(Independent BSS)，在 IBSS 服務組合中，工作站能

彼此間直接通訊，無須透過基地台協助。而無線隨意網路(wireless ad hoc network)則屬於第二種的特殊網路，該網路隨時隨地都可建立，並能對某一特定應用提供服務，無線隨意網路並沒有固定基礎架構，不需要事先作基礎規劃與佈置，即能靠各成員自我組態，自動組織而成。它能接受網路成員任意地移動，且在高移動性的情況下，仍能維持該有的服務。在應用方面，通常牽涉各成員的相互合作，群組成爲團體，來達成具體應用[17]，而無線感知網路(Wireless Sensor Network)亦屬於其中一種，無線感知網路技術不斷的快速發展，常見的有無線電技術、Zigbee 等無線感知器，已普遍地運用在遠距醫療與老人看護等應用上，不過目前因系統介面不同，最快速的方法就是透過網路服務(Web services)的方式將系統整合，除了降低整合的困難度之外，在整合後亦可發揮更大的功效。王清松等人[13]提到遠距醫療系統目前在患者端的測量儀器，已有很大的改善，很多量測儀器可以結合無線感知網路技術，使量測動作自動化，透過無線傳輸，可以減少患者在操作上的不便，病患可利用系統操作，就可以了解自己身體健康狀況。

現有的量測儀器與項目中，很多儀器已改成數位式，除了量測的準確性高，其傳輸方式可透過無線方式自動傳送，可降低系統的操作困難度外，在體積方面也有很大改善，可使病患方便攜帶或是配戴，且在功率消耗方面也有很大改善。目前市售或是文獻中常用的量測儀器包括：1.血壓計。2.血糖計。3.尿酸。4.體溫計。5.心跳。6.心電圖。7.心臟監測儀器。8.血氧濃度等等。這些儀器目前都有簡易操作或是無線傳輸功能，有些像血壓或血糖機上，就有簡單的儲存比較的功能，使患者在測量後方便直接觀察。

此外林昆遠與蔡章仁[14] 亦提供有專門針對老年人或小孩或行動不便之病患，偵測跌倒的功能，使被照護者在發生跌倒情形後，透過系統感測，能進行提醒或緊急通知；照護方面有系統是針對患者居住之環境溫度、濕度、噪音與光線進行量測與紀錄，以提供更適合的居住環境。同時劉仲鑫與范智傑[15]之研究是針對病患的所在位置進行定位，可以進而瞭解病患活動之情形。

圖 5 無線傳輸的自動血糖測試機

在相關研究中，則有以個人數位助理爲平台同時結合藍芽裝置及 GPRS 來完成通訊上的傳輸功能，並設計了一個生理訊號擷取電路，讓病患可以將自身的生理訊號(體溫、心跳)擷取到電路中，並透過網路結合 GPRS 傳輸到醫療院所中，提供給醫師進行診察，再透過網路，讓病患自行從醫療院所處下載個人的相關診察資料[16]。其系統架構圖如圖 6 所示。

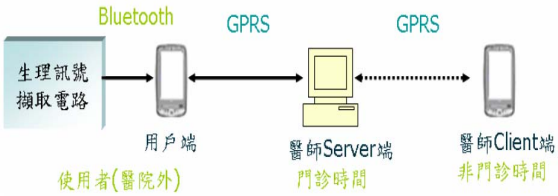


圖 6 個人數位助理平台系統架構圖

（圖片來源：博碩士論文網）

三、系統模擬

本實驗基礎架構爲一個傳送節點，模擬接受專注力訓練的使用者，一個接收節點，模擬腦波機接收使用者傳送過來的訊號。使用無線隨意網路(IBSS)，以 802.11 的傳送協定爲基礎，將傳送節點與接收節點進行連線，再逐一增加傳送節點的數量，模擬多位接受專注力訓練的使用者，同時傳輸資料到同一個接收節點上面，本實驗設定有效無線傳輸距離爲 50 公尺，封包大小設定爲 1000byte，模擬時間 300 秒，使用的無線通訊協定爲 DSDV。

以下對於NS2模擬軟體與DSDV通訊協定稍作介紹。

（一）NS2

NS2(Network Simulator 2)是一個屬於原始碼公開 (Open Source)的軟體，因爲原始碼的公開使得 NS2 具有無窮的擴充性。運用 NS2 能夠產生非常多的節點，只要運用一些程式的技巧，就能架構出一個大型的網路系統。

同時 NS2（Network Simulator）也是一個物件導向的模擬套件，使用 C++ 與 OTcl（Object-oriented Tcl，由 MIT 所發展）開發而成，主要用來模擬各種 IP 網路。對使用者而言，NS 可簡化如圖 7 所示，也就是說，使用者必須撰寫 OTcl Script 以進行：事件排程的初始、網路拓撲的建構、交通流量的描述、模擬時間的設定等，然後透過模擬平台取得模擬結果，進行分析。其中，模擬結果是一個或多個文字模式（Text-based）檔案，裡面記載詳細的模擬追蹤資料，透過 NAM（Network Animator）的解讀，便能以圖形介面呈現整個模擬過程，並提供分析輔助資訊，如：Throughput、各連結封包遺失數目等。

至於 NS2 在無線網路的支援方面，現有從 CMU Monarch（Mobile Network Architectures）計畫移植過來的無線網路模組；在該模組中，網路裝置具備移動、收發無線訊號的能力，且支援 DSDV、DSR、TORA、AODV 四個傳送協定，而在 Mac Layer 方面，已實作出 IEEE802.11 協定。另外，在無線電傳輸方面，提供 Free-Space Model、Two-Ray-Ground Model 與 Shadowing Model 供使用者選用（可適用於不同情境），並有電源模組處理電源上的議題，而對衛星網路與無線有線混合網路亦提供支援。[18]

在 NS2 的架構下，有許許多多的模組，使用者可以自己選取需要的模組進行整合，以符合自己的需求，圖 8 將其中重要的項目與之間的關係作簡要的說明。主要分爲兩個部份：連接器(Connector)與分類器 (Classifier)，而從連接器與分類器又可以往下分有幾個項目，如此一層層的往下細分，可由圖中發現到，NS2 是階層式的實驗平台。

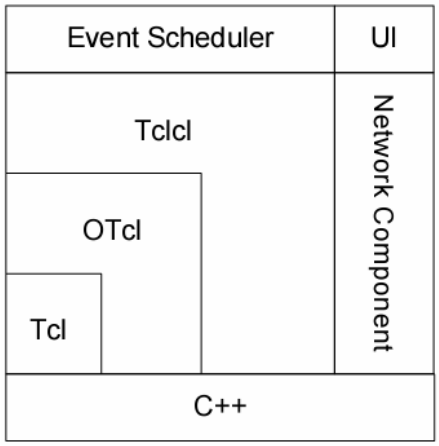


圖 7 NS2 核心與模組

NS2 與 OSI 七層協定的關係如圖 9 所示。最下層是節點連接(Node & Link)層，負責在 NS2 網路系統中，設定節點以及節點與節點間的連接工作，對應於 OSI 的資料連接(Data Link) 層與實體(Physical)層；而後是代理(Agent)層，負責節點與節點連接時，設定使用何種協定進行連接，對應於 OSI 第三與第四層的網路(Network)層與傳輸 (Transport)層；至於應用 (Application)層，負責相對應於 OSI 第五到第七層的工作，屬於最上層與使用者直接接觸的部分。使用者撰寫 NS2 相關程式時，必須對下列三項進行設定： (1) 節點以及節點與節點之間的連線、 (2) 使用的通訊協定、 (3)要執行的應用程式。有了這三項的基本設定後，NS2 的網路架構情境才可以開始執行。

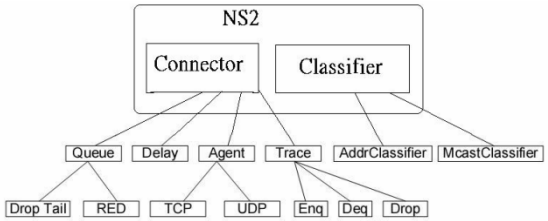


圖 8 NS2 結構的說明

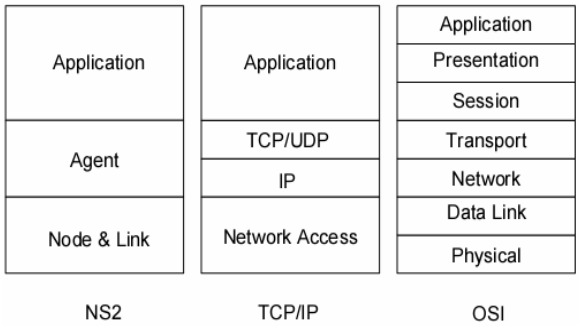


圖 9 NS2、TCP/IP 與 OSI 的七層協定關係圖

在事件排程(Event Scheduler)和網路元件(Network Component)這兩個部分，Network Component 是 NS2 中的 Agent (TCP 、UDP…) 、Traffic Generator (Http 、FTP 、CBR…) 這一部分。而 NS2 主要是以 Event-driven 的概念在做模擬，例如在 2 秒的時候開始執行群播的工作；在 2.5 秒的時候，某個節點加入群組；在 3 秒的時候結束傳輸等，這是 Event Scheduler 的部分，這兩個部分主要是以 C++所撰寫出來的。OTcl 這個 Script Language 是 NS2 使用者用以撰寫網路拓樸的語法，而 OTcl 其實就是架構在 Tcl 之上的物件導向(Object-Oriented)所延伸出來的。C++置於最底層則是表示 NS2 主要的核心就是 C++，基本上 NS2 主要是以 C++所撰寫出來。而 Tclcl 則是用來溝通 OTcl 及 C++的橋樑。最後搭配一個 User Interface，這樣就構成了 NS2 了。

（二）DSDV 無線網路通訊協定

由於本實驗中，使用者進行腦波專注力訓練，是透過電腦進行試題，或者藉由禪坐，閉目等方式進行，因此在無線網路拓樸中，較少移動，故採用 DSDV 網路協定。以下是 DSDV 無線網路協定運作方法說明：DSDV(Destination-Sequenced Distance-Vector)是基於傳統的 Bellman-Ford 路由選擇演算法所改良而發展出來的一個以路由表中會記錄著目的地地址(destination)、下一個節點(next hop)、路徑節點數(hop count)、循序號碼(sequence number)以及第一次相連時間(install)，而路由表內的每筆紀錄所包含的循序號碼，可用來判斷是否有些路徑比較老舊，以避免迴圈路由的產生。

每個節點都會週期性的將他們的路由表傳送給最靠近的鄰居，以維持所有節點都擁有完整路徑的特性，當網路拓樸有較大的變化以至於路徑表有大幅度的變更時，節點也會主動傳送新的路徑表給最近的節點，所以路徑表的更新同時擁有由時間引發(time-driven)及由事件引發(event0driven)。

DSDV 基本上和網際網路上的 Distance-Vector Routing (DV)相同，只是多了目的地序號(destination sequence number)的紀錄，使得 Distance-Vector routing 更能符合對稱式點對點無線網路這種快速變動的網路所需。此外當網路拓樸變動比較不頻繁時，並不需要將路由表的所有資料進行交換，DSDV 提供兩種主動式無線環境更新訊息，DSDV 在每個節點內在加了一個表，用來記錄其路由表從上次交換至今所更改的部份，如果更改很多，就進行全部資料的交換(full dump)，將完整的路徑表資訊傳送給鄰居，如果改變很少，就只針對改變部分交換(incremental update),只將次交換至今所更改的部份資訊傳送出去。[6]

（三）網路拓樸

本實驗一共進行從一個無線傳輸節點到八個無線傳輸節點，八種不同無線環境的模擬。中心的節點 1，爲模擬腦波機接收訊號，其餘節點，模擬受治療者的訊號傳送節點。如圖 10 所示。並量測八種無線環境中，無線傳輸數據的資料。以求了解，在無線環境中是否能多人同時腦波機的治療訓練。

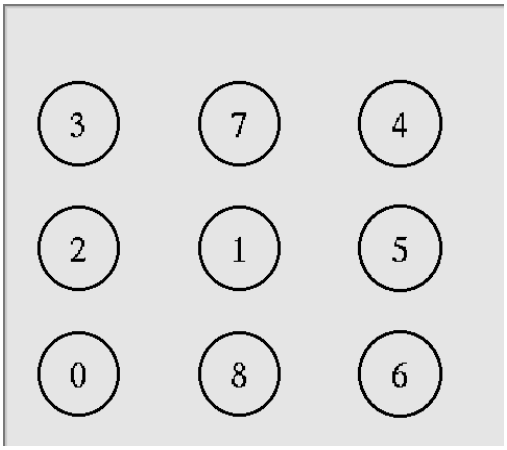


圖 10 ：實驗拓樸圖

四、實驗結果與討論

在本實驗中，我們模擬在 802.11g 傳送協定中傳輸資料，並使用 DSDV 路由協定傳輸，讓傳送節點與接收節點在同樣的網路傳輸協定環境中，克服需要整合不同無線網路協定(如：zigbee、藍芽等不同傳輸協定)的困難，我們所進行的實驗從一個傳送節點(1-client)，逐一增加節點數目，至最多八個傳送節點(8-client)在同時傳輸資料，我們看到當四個節點同時在網路中傳輸資料時，節點三與節點四之間，會發生隱藏節點的問題，網路拓樸如圖 11 所示，導致封包接收率低於其他實驗，但藉由 RTS/CTS 的機制，可解決此問題。

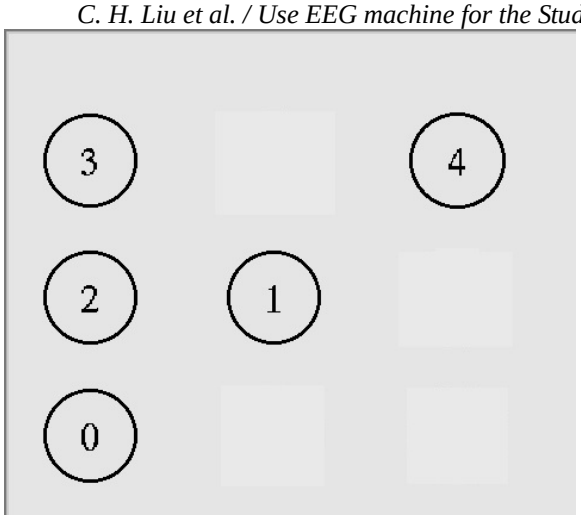


圖 11 四個傳送節點網路拓樸

從圖 12 中,所有的實驗的封包接收率在 95%以上，表示在無線傳輸過程中，腦波機可以成功接收 95%以上的資料。由圖 13 中，，封包平均延遲在 0.1 秒以內，代表當設備開始傳輸資料後，幾乎可以達到即時的傳輸，也更可以即時反應受測者的訓練成果。平均吞吐量約是 50(Kbit/s)，如圖 14 所示。總合上述三項數據，代表無線感知網路的環境可提供穩定的資料傳輸，因此架設無線醫療系統時，可以同時多人進行治療，由於進行專注力訓練時，學員通常是在固定處所內進行訓練，因此可將設備移動至不同場所，如學校，或是學員家中，以進行訓練，將可以爲醫療院所降低空間成本。

圖 12 平均封包接收率

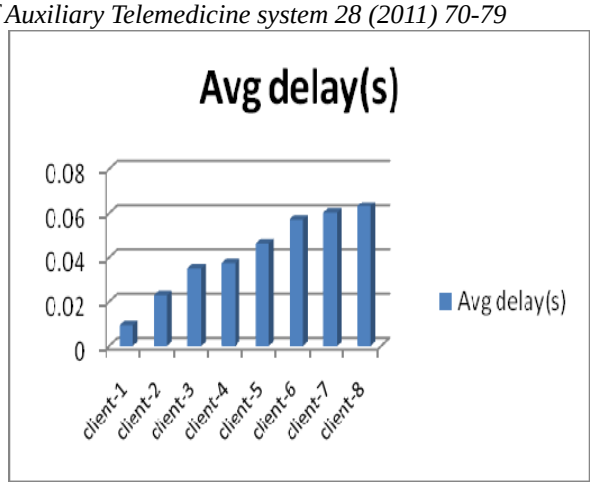


圖 13 平均封包延遲時間（秒）

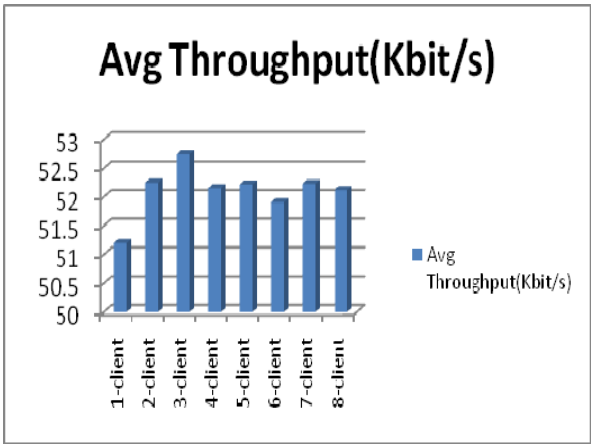


圖 14 平均吞吐量

誌謝

感謝本單位蔡敦仁主任與工學院陳義揚院長對於本研究的支持與鼓勵。

參考文獻

[1] Andersen, P., and Andersson, S. Physiological basis of the alpha rhythm. New York: Appleton-Century-Crofts.(1968).

[2] Pfurtscheller, G., and Klimesch, W. Functional topography during a visuoverbal judgment task studied with event-related desynchronization mapping. Journal of Clinical Neurophysiology, 9(1), 120-131.(1992)

[3] W3C http://www.w3.org/2002/ws/.(Access: 2008)

[4] 李嗣涔、石朝霖(民 82)。人體潛能者之腦波特徵及電磁現象。中醫藥雜誌，4(2)，17-30。1993.

[5] 吳水丕、何敬之、應國卿(民 87)。坐禪對於腦 α 波的效應。華梵學報，5，17-30。1998.

[6] 柯志亨、陳瑞馨、林政翰、梁浩銘、余佳育、吳鵬榮(民 97)，計算機網路實驗：使用 NS2 模擬多媒體通訊與無線網路，學貫行銷股份有限公司。2008.

[7] 洪聰敏(民 89)。腦波：探討運動及身體活動心理學的另一扇視窗。中華體育，11(4)，63-74。2000.

[8] 洪聰敏(民 89)。籃球罰球時左右腦 α 波的活動研究。體育學報，28，193-202。2000.

[9] 陳榮洲、蔡輝彥、李采娟、王貴芳(民 86)。天帝教正宗靜坐的腦波研究。中醫藥雜誌，8(3)，137-154。1997.

[10] 黃蓉蓉、陳泰瑞、陳明招、余伍洋(民 92)。注意力缺陷過動症兒童的長程聽覺誘發腦波變化。台灣精神醫學，17(2)，110-117。2003.

[11] 張宜正(民 83)。運動學習前後運動關連腦電位之變化。中華民國體育學會體育學報，17，377-390。1994.

[12] 鄧文焯(存取日期：民 97)，http://www.iiiedu.org.tw/knowledge/knowledge20021231_1.htm。2008.

[13] 王清松、王政傑、洪智誠、王銘毅，”RFID 醫療照護 RFID Medical-Care”，第三屆智慧科技生活研討會，2008。

[14] 林昆遠、蔡章仁，ZigBee 無線感測網路之跌倒偵測系統，第三屆智慧科技生活研討會，2008。

[15] 劉仲鑫、范智傑，Zigbee 整合定位系統之研究 ，知識社群與系統發展研討會，2008。

[16] 曾煥達, “以個人數位助理爲平台的遠距醫療行動診察系統,” 資訊與通訊工程研究所, 亞東技術學院, 2005

[17] 曾煜棋、潘孟鉉、林致宇, 無線區域及個人網路– 隨意及感測器網路之技術與應用, 知城出版社, 2007

[18] 許家瑞, “藍芽模擬環境的建構,” 資訊管理研究所, 國立臺灣大學, 2001

華岡工程學報第 28 期 民國一百年六月 中國文化大學工學院
Hwa Kang Journal of Engineering, Chinese Culture University 28 (2011) 80-85

NiAlFe(Cr,Nb) 介金屬合金之腐蝕行為研究

王鴻彬、邱亮維、曹春暉*
中國文化大學奈米材料研究所
*Email: chtsau@staff.pccu.edu.tw

摘要

本論文是在研究 NiAlFe 基介金屬合金的電化學性質，分別是以 $Ni_{47.5}Al_{25}Fe_{27.5}$、$(Ni_{47.5}Al_{25}Fe_{27.5})_{99}Cr_1$、$(Ni_{47.5}Al_{25}Fe_{27.5})_{99}Nb_1$ 三種介金屬合金來做研究，實驗是使用市售硫酸調配成 0.25M、0.5M、0.75M 及 1M 的硫酸溶液，並改變不同實驗溫度，以恆電流/恆電位儀測量此三種介金屬合金在不同溫度下的硫酸溶液中的極化曲線，來測定其腐蝕電位、臨界電流、腐蝕速率。電化學實驗結果顯示，三種介金屬合金置於不同溫度下硫酸溶液中，腐蝕電流及腐蝕電位雖沒有明顯變化，但隨著硫酸的溫度以及濃度的提高，鈍態區電流會向高電流方向偏移，而鈍態膜現象也會隨之減少。觀察腐蝕後的金相，可以得知硫酸溶液腐蝕合金的樹枝間相。

關鍵詞：NiAlFe 合金、極化曲線

The Corrosion Behavior of the NiAlFe(Cr,Nb) Intermetallic Alloys

Hong-Bin Wang, Liang-Wei Chiou, Chun-Huei Tsau*
Institute of Nanomaterials,, Chinese Culture University

Abstract

The electrochemical properties of the NiAlFe based intermetallic alloys, including the $Ni_{47.5}Al_{25}Fe_{27.5}$, $(Ni_{47.5}Al_{25}Fe_{27.5})_{99}Cr_1$ and $(Ni_{47.5}Al_{25}Fe_{27.5})_{99}Nb_1$ alloys, were studied in this thesis. The 0.25M, 0.5M, 0.75M and 1M H_2SO_4 solutions at different temperature were also selected to test the corrosion behaviors of these alloys. The polarization curves of three alloys under different conditions were all identified for comparing their corrosion potentials, corrosion currents and corrosion rates. The results indicated that the corrosion potentials and currents of these three alloys did not change significantly in the H_2SO_4 solution with different temperatures; but the currents of passive regions would gradually increase when the temperatures and concentrations of H_2SO_4 solutions increased. The FCC interdendrites in these three alloys were the anode and would be etched during electrochemical tests in the H_2SO_4 solutions.

Keywords: NiAlFe alloy**, Polarization curve**

一、前言

目前應用在工程上之高溫材料，主要是超合金及結構陶瓷。其中超合金具有良好高溫延性以及高溫韌性，但高溫強度不足卻是超合金嚴重的缺點；高溫陶瓷雖在高溫下具有高強度、高剛性

及良好的耐腐蝕性，但耐熱衝擊性不佳及低溫脆性等缺點卻限制了高溫陶瓷在工程上的應用。因此，具有高溫工程應用潛力的介金屬合金因而備受矚目[1-4]。

介金屬最早被開發研究的是具有正溫特性的 Ni_3Al 介金屬合金系列，其降伏強度爲隨著溫度上升而上升，直到約 800℃，超過此溫度後，強度就如同一般金屬，隨溫度上升而下降，但是此合金有一個重要的缺點在於比重過高，不適合應用在航太工業之耐高溫零件。新研發的目標漸漸改爲 NiAl 介金屬合金系列[5-8]，因其具有較 Ni_3Al 介金屬合金更優良之性質：比重較輕、耐蝕性較佳、熔點較高等優點，此優點可使渦輪葉片上的溫度分布比較均勻，不會產生局部過熱；但其本質上的缺點爲在室溫下呈現脆性，且在高溫下強度不足，使其缺乏應用性，因此才有根據合金設計概念改質的其他合金出現，例如本論文的三種合金。

研究腐蝕的目的主要是因爲一些金屬零件長期使用下來的腐蝕損壞所造成的損失重建以及人力資源，對經濟方面是一大考量；操作設備發生腐蝕也可能造成嚴重的傷害，因此改善操作設備的安全性也是需要的。所以說一個合金的開發除了分析其機械性質外，金屬的腐蝕特性研究也是很重要的一環[9-10]。

本實驗是在研究此介金屬合金的電化學性質，使用的合金成分主要爲三種[11]，分別是 $Ni_{47.5}Al_{25}Fe_{27.5}$ 、 $(Ni_{47.5}Al_{25}Fe_{27.5})_{99}Cr_1$ 、 $(Ni_{47.5}Al_{25}Fe_{27.5})_{99}Nb_1$，實驗中使用市售硫酸調配成不同濃度，再分別改變成不同溫度，同樣以恆電流/恆電位儀測試。最後使用 SEM 觀測腐蝕金相。

二、實驗

本實驗是使用鎳、鋁、鐵三種元素爲基質，分別添加鉻及鈮元素之兩種合金來作爲比較。實驗所使用的合金分別爲 $Ni_{47.5}Al_{25}Fe_{27.5}$ (簡稱爲 NAF)、$(Ni_{47.5}Al_{25}Fe_{27.5})_{99}Cr_1$ (簡稱爲 NAF+1Cr)以及$(Ni_{47.5}Al_{25}Fe_{27.5})_{99}Nb_1$ (簡稱爲 NAF+1Nb)，下標爲各元素所含原子百分比。各元素佔合金成分比如表 1 所示。實驗所用合金元素 Ni、Al、Fe、Cr、Nb 之純度均高於 99.9%。熔煉所用的儀器爲氣氛保護之真空電弧熔煉爐。

電化學實驗是將 $Ni_{47.5}Al_{25}Fe_{27.5}$ 、$(Ni_{47.5}Al_{25}Fe_{27.5})_{99}Cr_1$ 以及$(Ni_{47.5}Al_{25}Fe_{27.5})_{99}Nb_1$ 三種合金經過切割、研磨、洗淨之後，再以銀膠黏上電線靜置約 24 小時自然乾燥之後，再以環氧樹脂鑲埋，鑲埋成三種試片。實驗使用之電化學儀器爲 AUTOLAB 公司之 PGSTAT30。試片研磨洗淨後先將試片通入-0.4V 之電位，並處理表面 300 秒，OCP 電位平衡時間 900 秒後以每秒 0.001V/s 進行掃描，掃描範圍由是以 OCP 爲基準，從 -0.5V~2V，試片面積設定爲 $1cm^2$ 爲了除去氧氣對實驗所造成之影響，實驗中必須持續通入氮氣以達到除氧的效果。由此實驗可以從極化曲線得到腐蝕電位(E_{corr})、鼻尖電位、鈍態電位(E_{pp})、以及利用 Tafel 斜率求出腐蝕電流密度(I_{corr})等數據。利用恆溫水槽來達到測試溶液能夠改變其溫度，實驗裝置如圖 5，另外也使用溫度計置於溶液中來確認實際溫度；我們使用了 0.25、0.5、0.75、1M 之硫酸溶液，分別改變其溫度 30℃、40℃、50℃、60℃等四種溫度來測試其電化學性質。

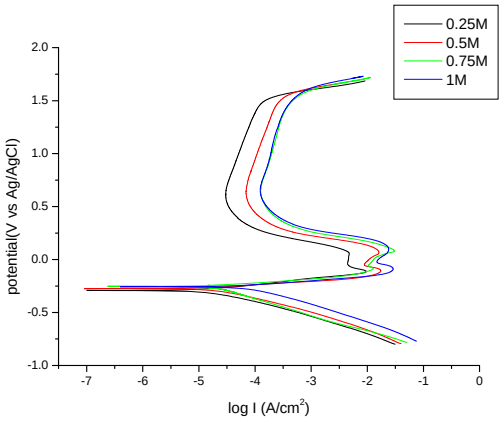
表 1 $(Ni_{25}Al_{27.5}Fe)_{100-Y}X_Y$ 合金之成份

alloys (at.%)	Compositions of the alloys (wt.%)				
	Ni	Al	Fe	Cr	Nb
$Ni_{47.5}Al_{25}Fe_{27.5}$	55.8	13.5	30.7	-	-
$(Ni_{47.5}Al_{25}Fe_{27.5})_{99}Cr_1$	55.2	13.4	30.4	1.0	-
$(Ni_{47.5}Al_{25}Fe_{27.5})_{99}Nb_1$	54.8	13.2	30.2	-	1.8

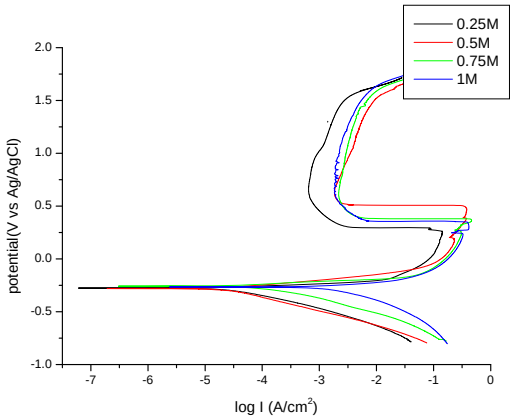
三、結果與討論

圖 1 爲不同硫酸濃度對於三種介金屬合金 NAF、NAF+1Cr、NAF+1Nb 之影響，並以 30℃與 60℃的圖作爲比較，從圖上結果顯示硫酸溶液的濃度變化對於三種介金屬合金的腐蝕電流(i_{corr})以及腐蝕電位(E_{corr})同樣無明顯的變化，但鈍態區的電流也同樣隨濃度上升而向右偏移，隨著濃度的提升我們可以發現陽極的鈍態電位(E_{pp})也隨之提升。另一個可以參考的數據爲臨界電流密度(I_{crit})，爲鈍態電位時的電流密度，也就是進入鈍態區時所需跨越的電流密度臨界值，由圖中我們可以看到三種介金屬合金之臨界電流密度(I_{crit}) 隨著鈍態電位的提高也跟著變大，且隨著硫酸濃度的提

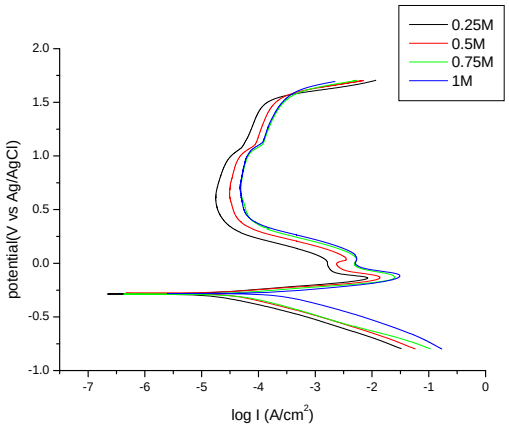
升，臨界電流密度也有越大的趨勢。在不同濃度以及不同溫度中，三種合金皆會產生鈍態膜，鈍態區橫跨的電位大約爲 1.4~1.7V 左右；腐蝕電位的差異大約爲 20mV 左右，這個差異可以說是在量測誤差內，所以，腐蝕電流 I_{corr} 以及腐蝕電位 E_{corr} 並沒有因爲溫度的提升產生太大的變化。



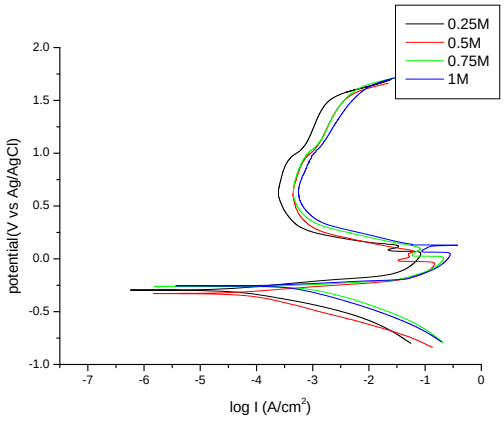
(a) NAF 合金，30℃



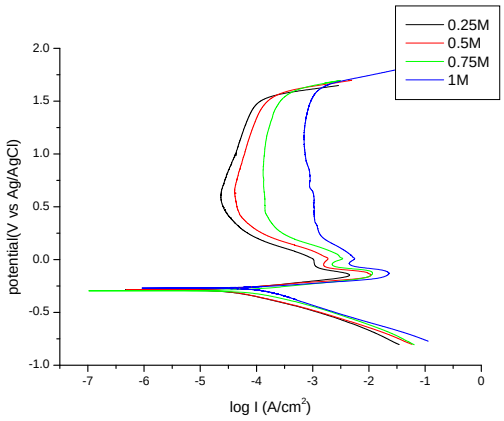
(b) NAF 合金，60℃



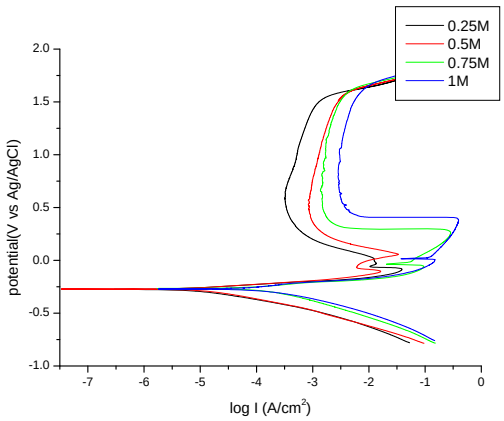
(c) NAF+1Cr 合金，30℃



(d) NAF+1Cr 合金，60℃



(e) NAF+1Nb 合金，30℃



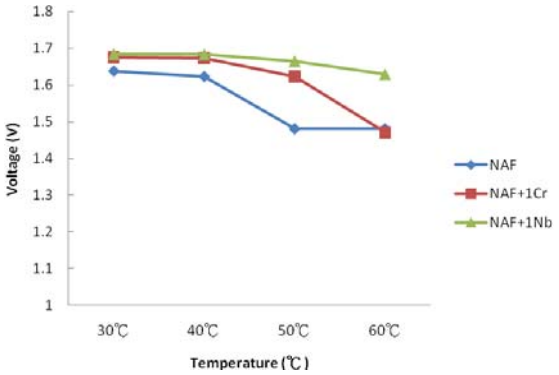
(f) NAF+1Nb 合金，60℃

圖 1 三種合金在不同濃度的 H_2SO_4 溶液之 30℃及 60℃下的極化曲線

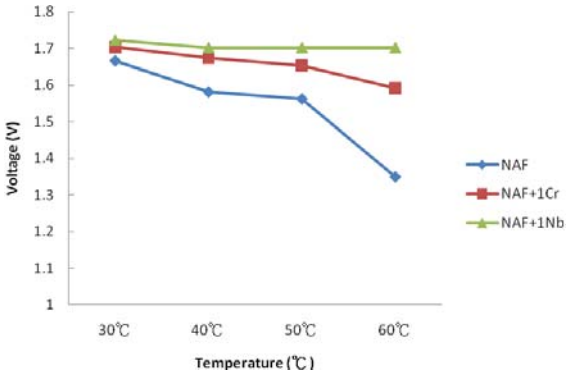
另外，由 30℃與 60℃的圖比較，我們可以明顯的發現鈍態區的變化，整個曲線的趨勢是往右邊偏移，表示隨著溫度的上升會使得介金屬鈍態區的電流密度會逐漸的向高電流密度偏移，所以

當硫酸溶液溫度提升會使得三種介金屬鈍態區電流變大。

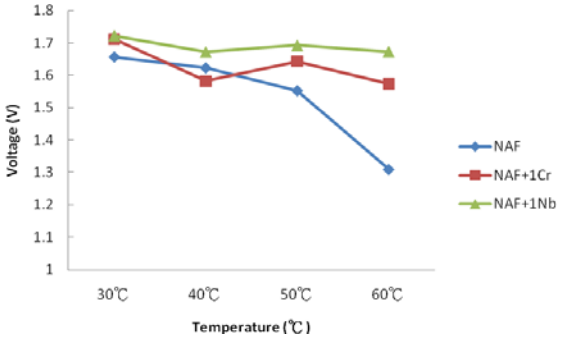
圖 2 爲三種介金屬在不同濃度之硫酸溶液中，鈍態區間隨著溫度提升後的變化，由圖中可以得知隨著硫酸溫度的上升合金的鈍態區電位有逐漸變小的趨勢，而腐蝕電位(E_{pp})也同樣的隨著溫度的上升而上升。另外由圖表中可以得知當三種介金屬在硫酸溶液中鈍態區的比較下來可以發現 NAF+1Nb 鈍態區間的電位是三種合金裡面最高的，其次是 NAF+1Cr 合金，而最小的則是 NAF 合金，這個表現可以說明 NAF 合金添加 Cr 以及添加 Nb 有助於合金的耐蝕性。



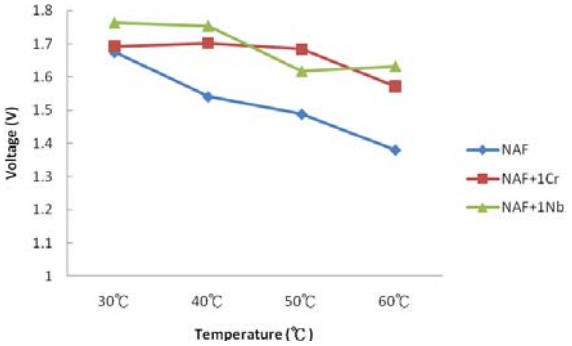
(a) 0.25M



(b) 0.5M



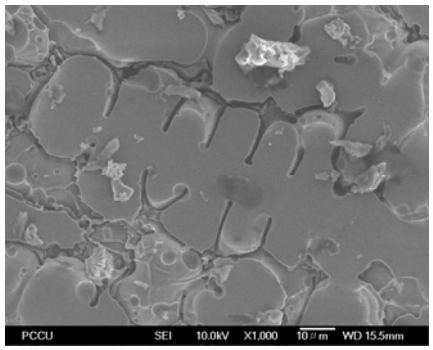
(c) 0.75M



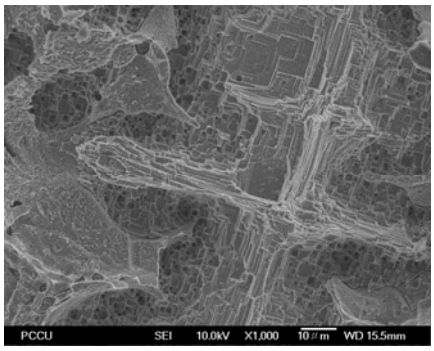
(d) 1M

圖 2 三種介金屬合金在不同溫度、不同濃度的硫酸溶液中之鈍態區間電位比較圖

圖 3 爲 NAF 合金在 1M 硫酸溶液 30℃、60℃下的腐蝕金相，由圖中我們可以看到經過硫酸的電化學腐蝕過後，合金的樹枝間相被腐蝕掉而留下了樹枝相，主要腐蝕相爲 FCC 結構的樹枝間相基地。隨著溫度提升到 60℃，我們也可以發現硫酸同樣是腐蝕合金的樹枝間相，但是溫度提升使得腐蝕狀況明顯的變得更加劇烈，且原本的樹枝相也從外邊開始向內腐蝕。



(a)

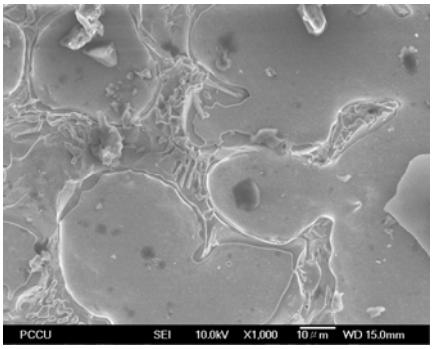


(b)

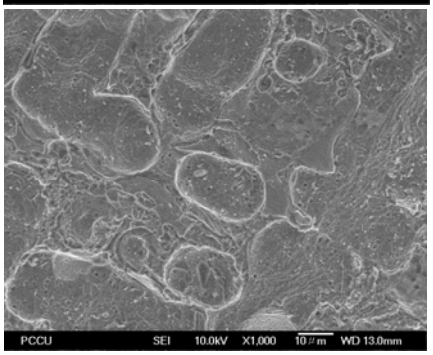
圖 3 NAF 合金依電化學方式在 1M 硫酸溶液(a) 30℃；(b) 60℃下的 SEM 金相

圖 4 爲 NAF+1Cr 合金在 1M 硫酸溶液 30℃、60℃下的腐蝕金相，在 1M 的硫酸溶液在電化學腐

蝕處理過後，我們發現硫酸同樣的腐蝕合金的樹枝間相而留下了樹枝相，當溫度提升到 60℃蝕腐蝕情況更爲嚴重。但是相較於 NAF 合金而言我們可以發現添加了 1%的 Cr 合金腐蝕情況較 NAF 合金輕微。



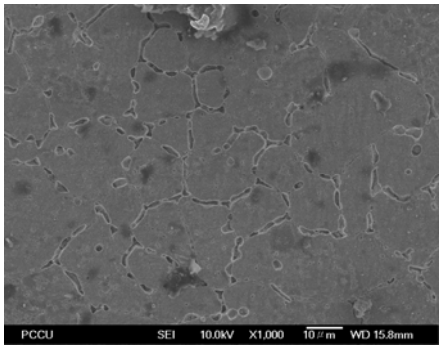
(a)



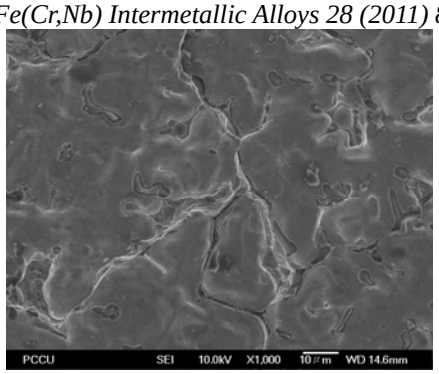
(b)

圖 4　NAF+1Cr 合金依電化學方式在 1M 硫酸溶液(a) 30℃；(b) 60℃下的 SEM 金相

圖 5 則爲 NAF+1Nb 合金在 1M 的硫酸溶液 30℃、60℃下的腐蝕金相，當電化學處理過後可以發現，雖然添加 Nb 合金的硫酸同樣腐蝕樹枝間相，但是相較於其他兩者 NAF 及添加 Cr 的介金屬合金比較下來可以發現，在 30℃中被腐蝕的樹枝間相並沒有如此的劇烈而呈現細條狀，60℃雖然腐蝕情形變得較劇烈，但是同樣的比其他兩者合金輕微。同樣的表現我們可以在前面數據的鈍態區間之比較中印證此趨勢。



(a)



(b)

圖 5　NAF+1Nb 合金依電化學方式在 1M 硫酸溶液(a) 30℃；(b)　60℃下的 SEM 金相

因此我們可以得知三種介金屬合金對於硫酸濃度在 1M 下的耐腐蝕性而言，添加 1%Nb 的介金屬合金 NAF+1Nb 以及添加 1%Cr 的介金屬合金 NAF+1Cr 耐蝕性皆優於 NAF 合金，而 NAF+1Nb 合金耐腐蝕性略優於 NAF+1Cr 合金。因爲從金相觀察得知，在 NaCl 溶液中的主要腐蝕相爲 FCC 結構之樹枝間相的基地相。添加 Nb 會減少樹枝間相的比例，因而提升材料的耐腐蝕性；而 Cr 爲眾所熟知之耐腐蝕元素，所以添加 Cr 雖然會增加樹枝間相的比例，但是仍然可以提升材料的耐腐蝕性。

五、結論

本論文研究 $Ni_{47.5}Al_{25}Fe_{27.5}$ 介金屬合金，以及添加 1at.% 之 Cr 以及 Nb 元素之 $(Ni_{47.5}Al_{25}Fe_{27.5})_{99}Cr_1$、$(Ni_{47.5}Al_{25}Fe_{27.5})_{99}Nb_1$ 等三種介金屬合金，在 H_2SO_4 溶液中的腐蝕行爲，改變不同濃度及不同溫度的 H_2SO_4 溶液，分別測試其試片的極化曲線以及觀察腐蝕後的表面。由研究結果我們可以歸納出以下結論：

1. 三種合金在不同濃度改變溫度的 H_2SO_4 溶液中，腐蝕電流 i_{corr} 以及腐蝕電位 E_{corr} 不會因溫度的提升產生太大的變化；但由整個曲線之鈍態區的趨勢是往右邊偏移，隨著硫酸溶液溫度提升會使得三種介金屬鈍態區電流變大。H_2SO_4 溶液的濃度變化對於三種合金的腐蝕電流(i_{corr})以及腐蝕電位(E_{corr})同樣無明顯的變化，但鈍態區的電流也同樣隨濃度上升而向右偏移。
2. 三種介金屬在不同濃度之硫酸溶液中，鈍態區間隨著硫酸溫度的上升，合金的鈍態區電位有

逐漸變小的趨勢，而腐蝕電位(E_{pp})也同樣的隨著溫度的上升而上升；當三種介金屬在硫酸溶液中鈍態區的比較中，NAF+1Nb 鈍態區間的電位是三種合金裡面最高的，其次是 NAF+1Cr 合金，而最小的則是 NAF 合金，亦可說明 NAF 合金添加 Cr 以及添加 Nb 有助於合金的耐蝕性。

3. 經過硫酸的電化學腐蝕過後，三種介金屬合金的樹枝間相被腐蝕掉而留下了樹枝相，主要腐蝕相爲 FCC 結構的樹枝間相基地。當溫度提升到 60℃，硫酸同樣是腐蝕合金的樹枝間相，但是溫度提升使得腐蝕狀況明顯的變得更加劇烈。相較於 NAF 合金而言我們可以發現添加了 1%的 Cr 以及 Nb 合金腐蝕情況較 NAF 合金輕微；這是因爲添加 Nb 會減少樹枝間相的比例；而 Cr 爲所熟知之耐腐蝕元素。
4. 三種介金屬合金對於硫酸濃度在 1M 下的耐腐蝕性而言，添加 1%Nb 的介金屬合金及添加 1%Cr 的介金屬合金耐蝕性皆優於 NAF 合金，而 NAF+1Nb 合金耐腐蝕性略優於 NAF+1Cr 合金。

參考文獻

[1] I. Baker and E. M. Shulson, Metall. Trans. A, 15A (1984) 1129.
[2] A. Inoue, T. Masumoto and H. Timioka, J. Mater. Sci., 19 (1984) 3097.
[3] K. Ishida, R. Kainuma, N. Ueno and T. Nishizawa, Metall. Trans. A, 22A (1991) 441.
[4] C. H. Tsau, J. S. C. Jang and J. W. Yeh, Scripta Metall. Mater.，34 (1996) 325.
[5] C. H. Tsau,J. S. C. Jang and J. W. Yeh, Mater. Sci. Eng., A153 (1992) 264.
[6] C. H. Tsau, J. S. C. Jang and J. W. Yeh, Mater. Sci. Eng.，A192/193 (1995) 204.
[7] C. H. Tsau, J. S. C. Jang and J. W. Yeh, Intermetallics, 5 (1997) 433.
[8] C. H. Tsau, J. W. Yeh and J. S. C. Jang, Metall. Mater. Trans. A, 37A (2006) 175.
[9] 鮮祺振，“腐蝕控制”，徐氏基金會出版 (1998，台北)
[10] J. R. Scully, Corrosion, 56 (2000) 199.
[11] 陳定穠，“NiAlFe 基介金屬合金之腐蝕特性研究”，中國文化大學材料科學與奈米科技研究所論文 (2008)。

華岡工程學報第 28 期 民國一百年六月 中國文化大學工學院
Hwa Kang Journal of Engineering, Chinese Culture University 28 (2011) 86-90

多孔矽之綠色發光特性研究

林嘉淦[1*]、賴衍中[2]
[1] 聖約翰科技大學電子工程研究所
[2] 中國文化大學材料科學與奈米科技研究所
*Email: jclin@mail.sju.edu.tw

摘要

本論文主要以陽極氧化電化學蝕刻法成功於 P 型矽基板上研製出一具有綠色發光特性之多孔矽薄膜。其主要關鍵在於控制給定之電流條件，以控制所獲得之多孔矽之奈米結構。再以光激發光譜儀(MAPLE PL) 檢測不同結構下之強度與波長，再利用掃瞄式電子顯微鏡(SEM)觀察其表面結構。

關鍵字：陽極電化學蝕刻、多孔矽、光激發光譜儀(MAPLE PL)

Study on Green Light Emission from Porous Silicon

J. C. Lin[1*], Y. C. Lai[2]
[1]Department of Electronic Engineering, St. John's University
[2] Institute of Nanomaterials, Chinese Culture University

Abstract

In this study, the manufacture of electrochemical anodization for porous silicon and its green light emission property were reported. The key point was the control of applied bias parameters for finally etching nanostructure of PS membrane. The measurements of scanning electro microscopy (SEM) and photoluminescence spectra were utilized to analyze. Experimental results indicated that the decrease in PL property was observed while the obtained PS membrane was exposed in atmospheric environment. Besides, a blue-shift on PL property was also discovered with increase in exposing time.

Keyword：Electrochemical Anodization, Porous Silicon, Green Light Emission

一. 前言

多孔矽是一種價格便宜而且取得方便的一種材料，透過它本身具有吸收和減少光反射的特性，以及可調變能隙(modulated energy bandgap)、高電阻係數(high ressitivity)、極大表面積/體積比(surface area-to-volume ratio)以及與塊材矽(bulk silicon)相同的單晶結構，只需利用簡單的電化學蝕刻即可製作，而它也很適合應用於製作半導體光學與光感應元件。

1956 年，Uhlir[1]在美國貝爾實驗室中利用氫氟酸爲電解液，並對矽基板進行電子拋光，發現基板表面有一層黑色薄膜，由他的實驗中顯示，不同的電流密度讓矽基板呈現出三種型態；1970 年後多孔矽廣泛被運用在 SOI 技術上，由於矽基板和氫氟酸溶液表面整流特性，P 型矽基板比 N 型矽基板來的快速；1984 年 Pickering[2]提出隨製備參數不同，多孔矽在室溫下發光現象也會有所改變，但是在當時卻無提出適當理論解釋此現象。

1990 年，Canham[3]發現室溫下利用藍綠光雷射照射多孔矽發出橙色光，進而研究探討其中特性，藉由製程參數的改變，影響激發光之波長與亮度，隨後提出量子侷限模型解釋此現象；2006 年 R.J.Mart'in-Palma[4]提出利用多孔矽的特殊表面做感測器之領域。多孔矽的發光機制尚有爭議，非常值得我們去研究探討。

二. 理論

本實驗的製備，使用氫氟酸當作電解液且用電源供應器提供電流，在矽晶圓之表面進行蝕刻作用，使晶圓表面形成不規則狀，蝕刻過程中電壓會隨蝕刻深度而逐漸降低，在陽極氧化的過程中隨電流進行，在多孔矽層將有細縫蝕刻現象產生。

多孔矽量子模型中，電洞爲電化學蝕刻反應之必備條件，因爲多孔矽與結晶矽相比下有較大能隙，隨電化學反應之進行，多孔矽尺寸變小而能隙漸變大，則電洞需要更充沛的能量才能穿越過多孔矽層。假設此需能量爲 Eq，而當所需能量 Eq 大於外加偏壓時，電洞就無法越過能障，當多孔矽缺乏電洞供應發生時電化學反應就會中斷。

若蝕刻過程中給於矽晶片適當照光，多孔矽之上表層將產生電子電洞對，其中電子會因爲外加偏壓因素往矽基板的方向移動(矽基板接陽極)，而電洞會進入氫氟酸溶液中，使反應繼續。

在蝕刻初期，會先在鍵結較脆弱或表面較不平整的部分進行蝕刻反應，等到有孔洞出現時，可觀察出於孔洞頂端爲電場最強的地方，如此一來電流會經過此區，因此蝕刻方向會向下鑽而不是往左右侵蝕，此現象在 N 型較明顯，因爲 N 型中電洞爲少數載子，因此孔洞邊緣之反應速率將遠低於孔洞尖端。

三. 實驗

〈一〉矽晶片之清潔

1. 將矽晶片裁切成3x3cm後，放入容器中並倒入丙酮浸泡，以超音波震盪器清洗10分鐘，目的去除附著在晶片上的有機物
2. 將其取出放入裝酒精之容器，一樣以超音波震盪器清洗10分鐘，去除表面殘留丙酮
3. 將試片放入裝有去離子水(DI Water)的燒杯中，以超音波震盪器清洗10分鐘，去除表面殘留的酒精

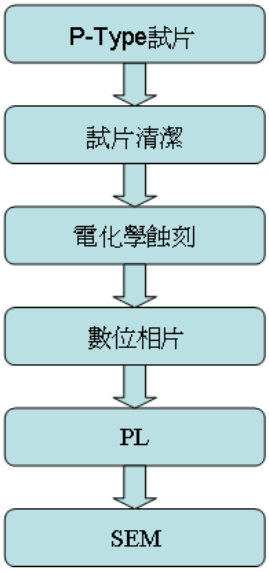


圖1 實驗流程圖

4. 迅速用氮氣槍將水分吹乾，使矽晶片表面無留有水痕。

〈二〉實驗器材

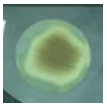
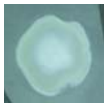
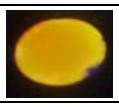
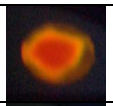
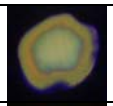
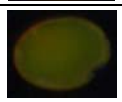
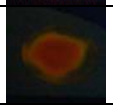
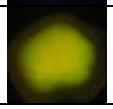
1. 白金線、黃金線、銅線(尺寸皆爲0.5mm x 15cm)
2. P-Type矽晶圓，阻值1-10Ω-cm，<100>

3. 氫氟酸HF
4. 酒精(乙醇)

〈三〉陽極電化學蝕刻

圖 2 為陽極電化學蝕刻示意圖，將清洗完成的矽晶片，裝入電化學蝕刻槽的隔離 O 環上，將銅片底座鎖緊，緩緩倒入氫氟酸與酒精的混合液於蝕刻槽內，把折成環形的白金線置入混合液中並接上負極，矽晶片背面銅片接正極，用電源供應器供應電流，在不照光環境下，電源啓動即可調整參數蝕刻晶片。

表 1 P 型矽晶片在不同金屬線的蝕刻後，於日光與紫外光(365nm、254nm)之數位照

	白金線	黃金線	銅線
日光			
365nm			
254nm			

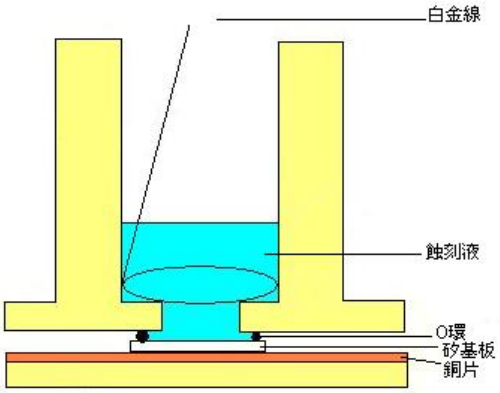


圖 2 陽極電化學蝕刻槽示意圖

〈四〉分析

利用掃描式光激發光譜儀(Maple PL)檢測其強度與波長，再用掃描式電子顯微鏡(SEM)觀察表面與側面結構。

四. 結果與討論

本實驗利用實驗最佳參數，白金線、氫氟酸：酒精=1：3、電流 150mA、時間 17 分半蝕刻 P 型矽晶片。P 型矽晶片蝕刻後，利用掃描式電子顯微鏡(SEM)觀察出圖 4 有著類似岩壁的形狀，被蝕刻的厚度約 1.5 ㎛。而表面的部份，有些許裂縫產生，其他部分則較為平整。

圖 5 以正中間的位置用 1000 倍率就可明顯看出裂縫的表面，以圖 6 判斷要發出綠激發光的表面會有大裂縫及大島塊。表 1 為日光下與紫外光 254nm 下的數位照，從表 1 的對照之下即可發現，使用黃金線蝕刻較不均勻且橘光微弱，整體呈現出兩到三種不同波段的光芒，然而白金線在同樣的參數的情況下，可發出較均勻的綠色光芒。

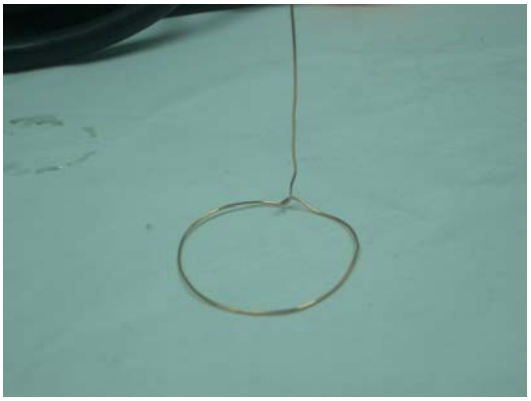


圖 3 實驗用線材均折成環形當作陰極環

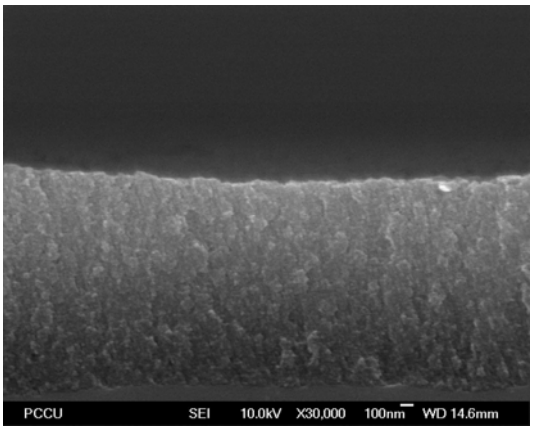


圖 4 P-Type 白金線蝕刻後表層之 SEM 側視圖

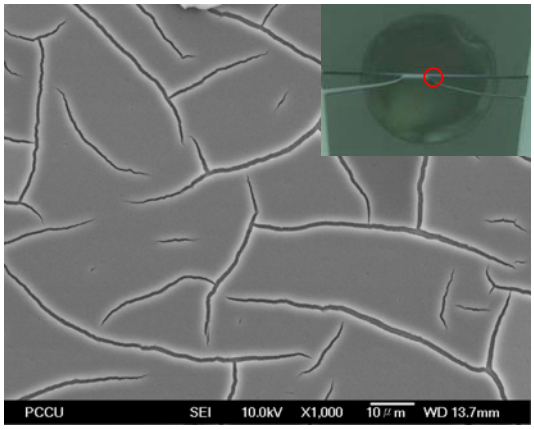


圖 5 P-Type 白金線蝕刻後之 SEM 正視圖

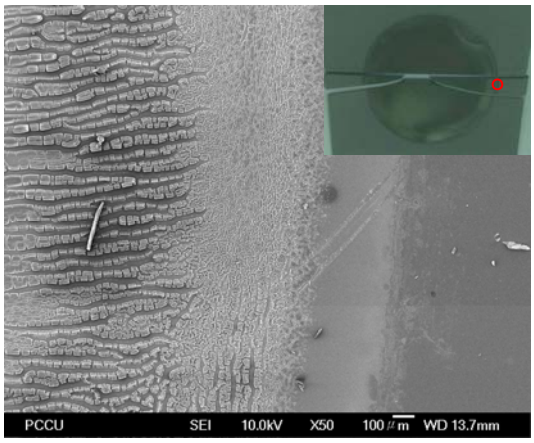


圖 6 P-Type 白金線蝕刻與非蝕刻的交界處

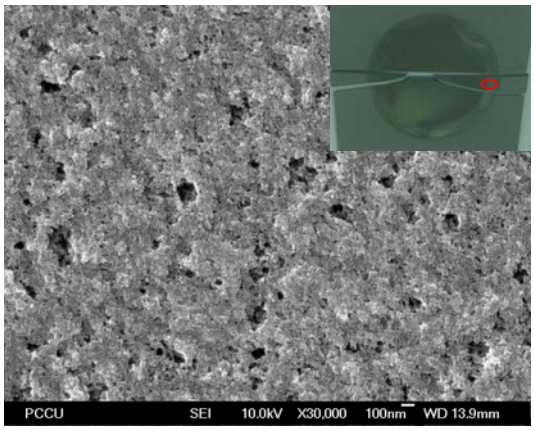


圖 7 P-Type 白金線剛蝕刻不久的表面

而使用銅線蝕刻之後的綠激發光，紫外光 365nm 下表面蝕刻範圍不均勻，中間及周圍皆有外環現象，似乎擴散出去，而呈現出來的光芒，也明顯看出有五角型的超薄弱黃光；在紫外光 254nm 下則是有淺綠色的光芒，五角型外環的波長跟中間的波長非常相近，呈現的效果依然沒有使用白金線來的均勻綠色。

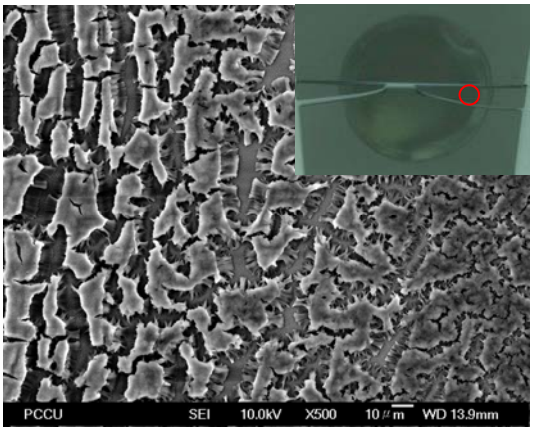


圖 8 P-Type 白金線蝕刻後慢慢剝落第一層

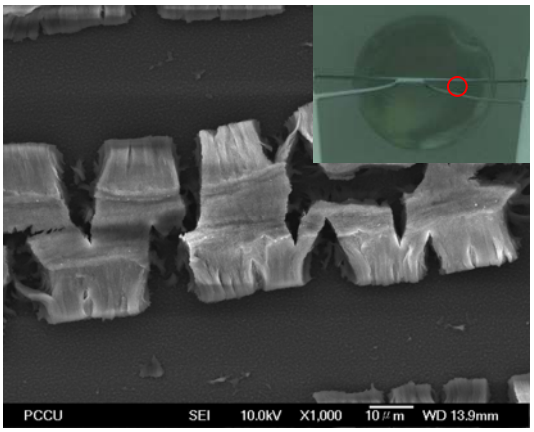


圖 9 P 型矽晶片蝕刻後像毛刷的第二層

接著再來看圖 5，可以明顯的看出綠激發光它的表面並非很平整，有很大的裂縫產生，推斷綠光的產生需要長時間將表面被刻出大裂縫，再透過紫外光的照射，使其發出綠激發光。

圖 6 是在蝕刻過程中漸漸改變形狀的形成樣貌，透過此圖可以清楚得知矽基板在蝕刻時間的長短來呈現不同的結構變化，更好做精確的判斷。

圖 7 在表面上已經出現大小不一的孔洞，而這些孔洞在形成的時候，氫氣也不斷的冒出，使蝕刻液能夠持續不斷的跟矽基板作反應。

圖 8 則是有很多不規則的島塊狀，經由

大裂縫的產生，蝕刻液可以一直跟更下層的矽基板反應，不斷的腐蝕使得表面從大島塊變成小島塊，最後再慢慢剝落，出現下面一層。

五. 結論

實驗的過程中，銅線會因爲大量釋放離子，使銅線線緣都會有白色的腐蝕狀，對於實驗線材消耗速度非常之快，蝕刻後也不易發出綠激發光。相對於白金線、黃金線來說，由於線材本身就不易釋放出離子，因此被腐蝕的機率也大幅下降許多。

透過多孔矽的蝕刻在不同的金屬線材下，想要呈現綠激發光，還是有一定的難度。然而本實驗利用白金線及銅線所能夠呈現出的綠激發光，主要期望是應用在各大感測器的元件或著是電子元件上。利用不同的波段，使其激發出各種光芒。

本實驗做出的綠激發光，壽命最多只能一天，並且衰退至不發光。倘若能將此激發光的壽命延長，並且未來應用在感測領域，將會是一大幫助。

六. 謝誌

很感謝林嘉泾教授一路以來不厭其煩的教導我，每次只要遇到難題，教授總是引導著我們，讓我自己去思考，並且引導我想出其中的影響因素等等，使我的實驗能夠更加順利的完成，再次衷心的感謝林嘉泾教授。

參考文獻

[1] A. Uhlir, Jr., “Electrolytic Shaping of Germanium and Silicon,” Bell System Tech. J., vol. 35, pp. 333-347, 1956.

[2] C. Pickering, M. J. J. Beale, D. J. Robbins, P. J. Pearson and R. Greef, J. Phys. C, Solid State Phys., 1984, Vol. 17, pp. 6553.

[3] Canham, L. T. Appl. Phys. Lett. 57, 1046−1048 (1990)

[4] López-García, J.; Martín-Palma, R.J.; Manso, M.; Martínez-Duart, J.M. Porous silicon based structures for the electrical biosensing of glucose. Sens. Actuat. B-Chem. 2007, 126, 82–85.

華岡工程學報第 28 期 民國一百年六月 中國文化大學工學院
Hwa Kang Journal of Engineering, Chinese Culture University 28 (2011) 91-96

無電極鍍鎳聚酯織物以膨潤方式處理對電磁波吸收效果之分析

李貴琪 [1*]、張紘瑞 [1]、游輝仁 [2]、黃宏旭 [3]
[1] 中國文化大學紡織工程學系
[2] 中國文化大學奈米材料研究所
[3] 金鼎聯合科技纖維股份有限公司
*Email: lee@staff.pccu.edu.tw

摘要

本研究是將聚酯纖維使用無電極鍍鎳的方法，使聚酯纖維表面鍍上金屬層，並藉由電鍍溫度 40℃、50℃、60℃、70℃，與電鍍時間 5 分鐘、10 分鐘、15 分鐘、20 分鐘、25 分鐘，觀察其電鍍溫度與時間對電磁波吸收值的影響。隨著電鍍時間、溫度的增加鍍上之鎳鍍層越多，表面電阻值相對越低，本實驗在無電極鍍鎳溫度為 70℃，電鍍 25 分鐘時電磁波吸收值可達 33dB，其電磁波吸收頻寬率可達 53%。

關鍵詞：無電極鍍鎳，電磁波吸收，聚酯織物

The Analysis of Absorbing Electromagnetic Waves used by Swelling Method and Electroless Nickel Plated Way on Polyester Fiber

K. C. Lee[1*], H. J. Chang[1], H. J. Yu[2], H.H. Huang[3]
[1]Department of Textile Engineering, Chinese Culture University
[2]Institute of Nanomaterials, Chinese Culture University
[3]TIS United Technologies Fiber Co., Ltd.

Abstract

The research is using Electroless nickel plating way to make Polyester Fiber's surface cover with metal. By use the different parts of temperature that it's at 40℃, 50℃, 60℃, and 70℃, and with the different parts of time to 5, 10, 15, 20, 25 minutes. Then observe how the plating temperature and plating time effect on the absorption of electromagnetic wave. As the increase of plating time and temperature, the nickel layers became more. The surface resistance is relatively lower. At this experiment when the temperature is at 70℃, plating the Polyester Fiber after 25 minutes, the absorption of electromagnetic wave could reach 33dB. The electromagnetic wave absorption bandwidth rates can get up to 53%.

Keyword: electronless nickel plated, electromagnet wave absorbent, PET fabric

一、前言

科技日益進步的社會，日常生活中的電器用品所散發出電磁波輻射能量強弱不同，如高壓變電器、微波爐、吹風機...等，當人體長時間接觸時，極可能對人體健康是有影響的，其影響包括：破壞生物分子細胞、免疫系統，甚至會使人體導致癌症的疾病。故歐美、日本等先進國家對電磁波遮蔽研究的話題十分的重視。

電磁波吸收材料分爲相當多種類，主要都是利用電場、磁場和電磁波吸收材料的相互作用，將其能量轉換爲熱能來達到電磁波吸收的效果。其中無電極電鍍因擁有許多優異的性能而廣泛的應用在化學、電子、紡織、航空等工業。 本實驗是以聚酯織物爲基材，以膨潤、粗化、敏化、活化等前處理經無電極鍍鎳，在不同的溫度與時間下，探討聚酯表面進行金屬化處理對於電磁波吸收的研究。[1]

二、理論

(一)電磁波的吸收原理

在電磁波吸收體下方放置金屬板，一開始會先有外部反射，剩餘的電磁波射進吸收體時經由金屬板反射，在吸收體內會有吸收損失和多重反射損失，入射波與反射波互相干涉共振，使電磁波轉換成熱能散失，形成電磁波之總反射量減少的效果，來達到電磁波吸收的目的。如圖 1 所示[2,3]。

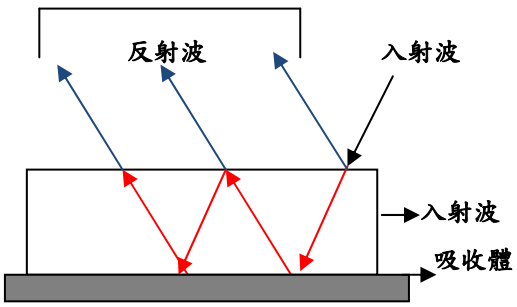


圖 1 電磁波吸收原理

在 Schelkunoff 氏理論中，電磁波入射到電磁波吸收體〔金屬（化）纖維／薄膜〕時，會同時以反射損失、吸收損失、多重反射損失，三種損失型態同時進行，其電磁波吸收效果，可以下式表示之。

S.E = A + R + M (dB)

S.E：遮蔽效率

A：吸收損失：電磁波在吸收體內之傳送所轉換成熱能而衰減。

R：反射損失：吸收體表面與空氣邊界間非連續性抵抗所產生之反射損失。

M：多重反射損失：吸收體兩面之間重覆反射所導致之損失。

dB：分貝可被定義爲輸入與輸出功率或電壓之屏蔽效益。[2, 3]

(二) 無電極鍍鎳原理

原理是在鍍液中加還原劑，使鍍液產生氧化反應放出電子，將鍍液中的金屬離子還原成金屬沈積於被鍍底材的表面，因爲不用外加電能，所以鍍液中所進行的氧化還原爲自發性反應，如圖2所示[4,5]。

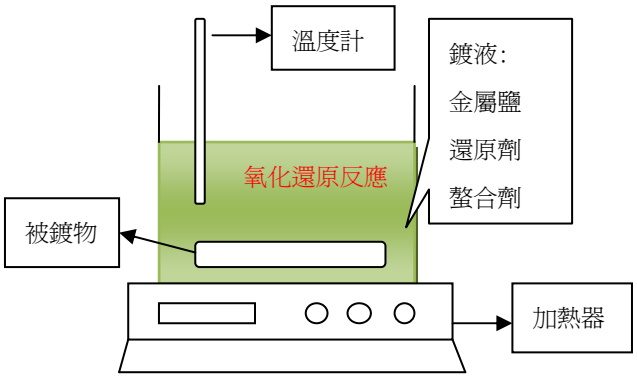


圖 2 無電極電鍍浴

(三)無電極電鍍之前處理過程

(1) 去脂: 材料在製造或加工過程，表面會沾染油脂，需在無電鍍前徹底清除，以免影響鍍層與纖維間的關係，一般用清潔劑或鹼液脫脂。

(2) 膨潤:纖維、膨潤劑的結合取代了纖維分子間的結合，纖維間的結合轉弱，使後續無電鍍反應更爲容易

(3) 粗化:一般纖維表面平滑，會使纖維與鍍層間結合牢度，故使用 NaOH 來浸蝕底材表面，使其產生微孔，來達到粗化的目的。

(4) 敏化:因纖維爲不導電材料，故要先在纖維表面加上一層薄的金屬催化層，常用之敏化液爲氯化亞錫和鹽酸加水配製而成。底材經粗化後，浸在敏化液中，錫離子滲入微孔內，產生吸附作用。

(5) 活化:常用之活化液以 $PbCl_2$ 和鹽酸加水配製而成，基材浸於活化液後，其微孔凹穴內之錫離子與 Pb 離子起還原反應對後續無電鍍反應，產生催化作用 [4,5]。

三、實驗

(一)實驗材料

(1) 氯化鈀($PdCl_2$)，拓南化工，試藥級
(2) 聚酯織物(PET)，源鵬公司
(3) 膨潤劑(PEG)，勝暉化成股份有限公司
(4) 氯化鎳($NiCl_2 \cdot 6H_2O$)，拓南化工，試藥級
(5) 磷酸二氫鈉($Na_2H_2PO_4 \cdot H_2O$)，拓南化工試藥級
(6) 檸檬酸鈉($C_6H_5O_7Na_3 \cdot 2H_2O$)，第一化工，試藥級
(7) 鹽酸 (HCl) 拓南化工，試藥級
(8) 氯化亞錫($SnCl_2$)，拓南化工，試藥級
(9) 氫氧化鈉(NaOH)，拓南化工，試藥級

(二)實驗設備

(1) 恆溫加熱板(孚源科技有限公司)
(2) pH 值測定器(孚源科技有限公司)
(3) 燒杯(拓南化工)
(4) 磁石攪拌機(祥泰精機股份有限公司，型號 :MS-303)
(5) 烘箱(華夏科學有限公司，型號:RHD-455)
(6) 溫度計(拓南化工)
(7) 網路分析儀： Agilent Technologies E5071B (300 KHz ~ 8.5 GHz)
(8) 號角天線：AH-118 (1 GHz ~ 18 GHz)
(9) 金屬板：面積 15cm^2，厚度 0.5cm
(10) 光纖傳輸線：Agilent Technologies N6314A、N6315A、N3839A (Type- N、50Ω RF Cables

(三)實驗條件

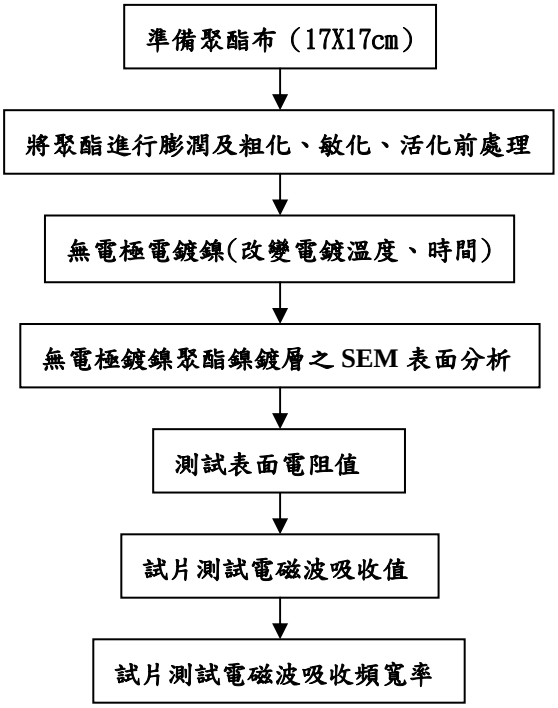
表 1 前處理液的成分比例

	成分	比例
膨潤劑	PEG	2g/100ml
粗化劑	NaOH	20g/100ml
敏化劑	$SnCl_2$	4g/100ml
	HCl	2ml/100ml
活化劑	$PdCl_2$	0.025g/100ml
	HCl	0.25ml/100ml

表 2 電鍍時間與溫度

溫度 (℃)	40	50	60	70
電鍍時間 (min)	5	5	5	5
	10	10	10	10
	15	15	15	15
	20	20	20	20
	25	25	25	25

(四)實驗流程



(五)實驗量測

實驗測試儀器由網路分析儀、S-參數測試儀，號角天線、金屬板以及待測物所指成。儀器在量測前必須先經過校準的工作，將雙端號角天線與金屬板呈 45 度角，如圖 3 所示。由其中一端號角天線發出電磁波，另一端進行接收，而接收波的頻段傳入網路分析儀中，即可測試待測物之電磁波吸收值。

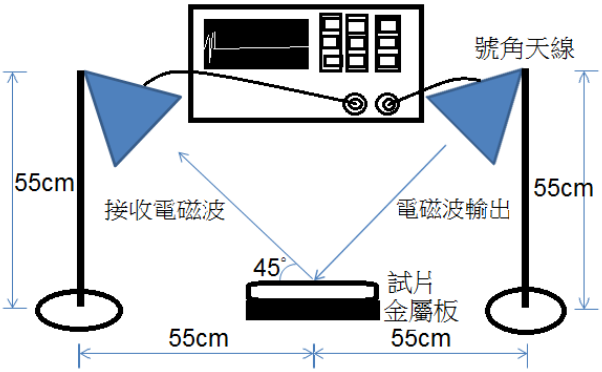


圖 3 電磁波測試實驗設備配置圖

四、結果與討論

(一) 無電極鍍鎳之溫度對聚酯纖維表面結構分析

圖 4 到圖 7 為聚酯經無電極鍍鎳之電子顯微鏡外觀，其電鍍溫度各別設定為 40℃、50℃、60℃、70℃，電鍍時間固定為 5 分鐘，由圖 4 到圖 7 可知，同倍率下表面鍍層隨溫度上升而增加，其原因為鍍液中的還原反應隨著溫度的上升而變得活耀，使的同時間內溫度高的鍍上之鎳鍍層更多。

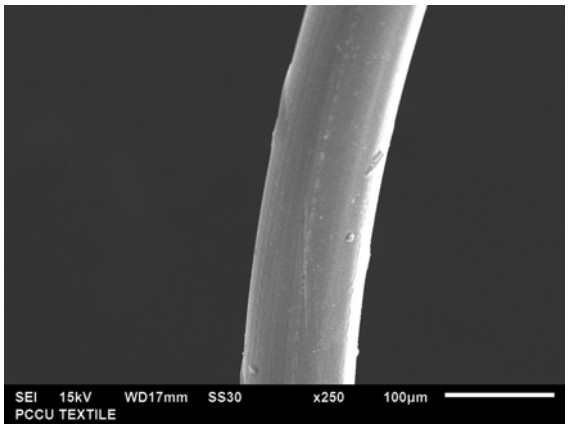


圖 4 電鍍溫度 40℃，鍍 5 分鐘聚酯表面 SEM 圖

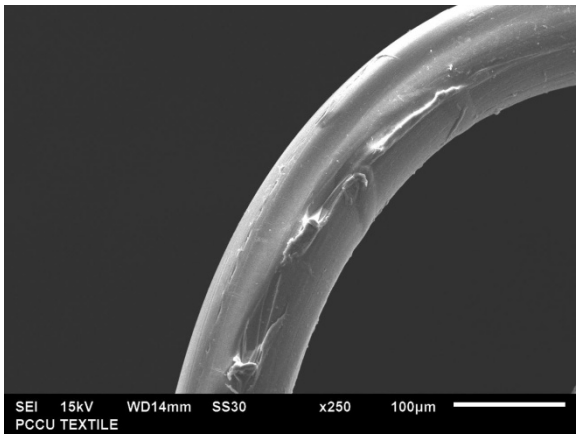


圖 5 電鍍溫度 50℃，鍍 5 分鐘聚酯表面 SEM 圖

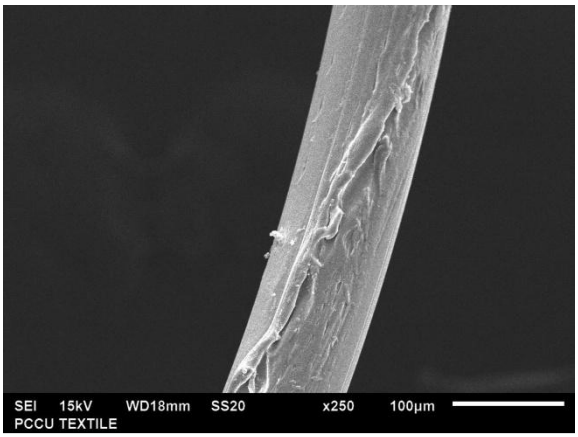


圖 6 電鍍溫度 60℃，鍍 5 分鐘聚酯表面 SEM 圖

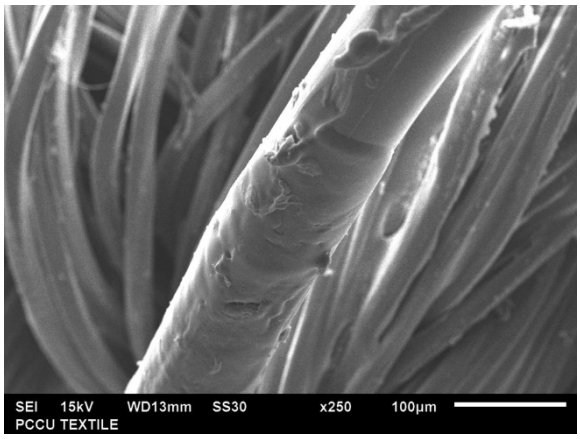


圖 7 電鍍溫度 70℃，鍍 5 分鐘聚酯表面 SEM 圖

(二) 無電極鍍鎳聚酯織物對表面電阻值之探討

圖 8 為無電極鍍鎳其電鍍溶液 pH 值固定為 6，電鍍溫度分別為 40℃、50℃、60℃、70℃，電鍍時間為 5 分鐘、10 分鐘、15 分鐘、20 分鐘、25 分鐘來電鍍，由圖 8 可以看出電鍍溫度越高，且電鍍時間越長時，其表面電阻值相對越低，

導電性越佳，主要是隨著電鍍時間、溫度的增加，鍍上的鎳鍍層就越多，能使電磁波有效的傳遞及消耗，而達到電磁波吸收之效果。

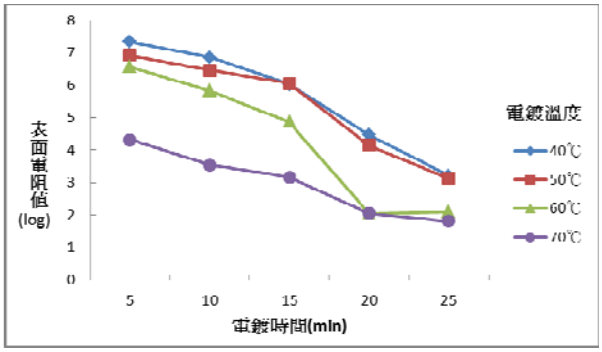


圖 8 依照電鍍溫度 40℃、50℃、60℃、70℃，電鍍時間 5 分鐘、10 分鐘、15 分鐘、20 分鐘、25 分鐘所測試之表面電阻值。

(三)無電極鍍鎳聚酯之電磁波吸收測定

圖 9 為無電極鍍鎳其電鍍溶液 pH 值固定為 6，電鍍溫度分別為 40℃、50℃、60℃、70℃，電鍍時間為 5 分鐘、10 分鐘、15 分鐘、20 分鐘、25 分鐘來電鍍，由圖中可以看出隨著無電極電鍍時間的增加電磁波吸收值就越高，但在 15 分鐘過後其 40℃、50℃吸收值上升趨緩，主要原因是因為溫度不夠，其反應不夠完整，使吸收值趨於平緩，而 60℃、70℃因溫度夠高，隨著電鍍時間、溫度的增加，鍍上的鎳鍍層就越多使電磁波有更多的機會進行消耗及損失，其條件為電鍍溫度 70℃，電鍍時間 25 分鐘時電磁波吸收值可達 33dB。

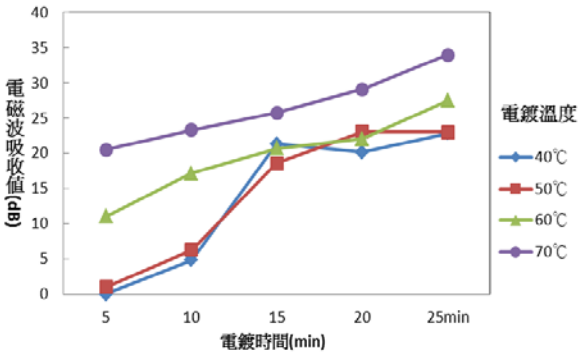


圖 9 依照電鍍溫度 40℃、50℃、60℃、70℃，電鍍時間 5 分鐘、10 分鐘、15 分鐘、20 分鐘、25 分鐘所測試之電磁波吸收值。

(四)無電極鍍鎳聚酯之電磁波吸收頻寬率測定

圖 10 為無電極鍍鎳其電鍍溶液 pH 值固定為 6，電鍍溫度分別為 40℃、50℃、60℃、70℃，電鍍時間為 5 分鐘、10 分鐘、15 分鐘、20 分鐘、25 分鐘來電鍍，由圖中可以看出隨著電鍍溫度與時間的增加，電磁波吸收頻寬率就越高，但在 20 分鐘過後，頻寬率反而下降，其主要原因為在無電極電鍍 20 分鐘以後其鍍上的鎳離子過多，造成反射的增加，使得只有特定頻寬有較佳的吸收效果，在電鍍時間 20min，電鍍溫度 40℃時其電磁波吸收頻寬率可達 53%。

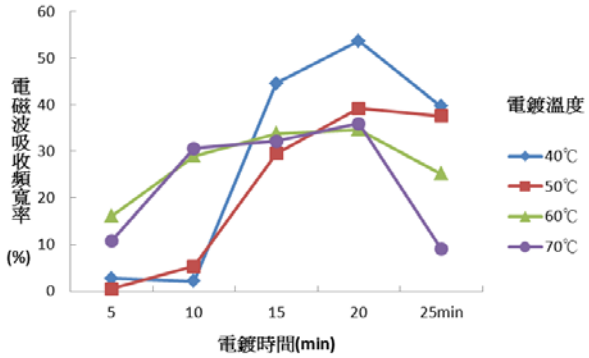


圖 10 依照電鍍溫度 40℃、50℃、60℃、70℃，電鍍時間 5 分鐘、10 分鐘、15 分鐘、20 分鐘、25 分鐘所測試之電磁波吸收頻寬率。

五、結論

(1) 溫度的提高會增加無電極鍍鎳之鎳鍍層。

(2) 隨著電鍍溫度、時間的增加，鎳鍍層越多能更有效的傳導電磁波，其表面電阻值相對地降低。

(3) 無電極鍍鎳之鍍液於 pH 值 6，溫度 70℃，無電極電鍍 25 分鐘時，電磁波吸收值最佳達 33dB，而無電極電鍍時間在超過 15 分鐘後鍍層趨於飽和，鍍液與纖維間的反應漸為穩定。

(4) 無電極電鍍時間、溫度的增加，電磁波吸收頻寬率越高而在超過 20 分鐘後會有鎳鍍層過多造成反射，使頻寬率降低的現象，電鍍時間 40℃，電鍍時間 20 分鐘時其電磁波吸收頻寬率最佳達 53%。

參考文獻

[1] 何宗庸，電磁波吸收體入門，全華科技，書股份有限公司 (2002)

[2] 方俊雄、曾信雄，碳纖維無電鍍鎳導電性之研究，大同材料學刊，台北，中華民國，153-155(1990)

[3] 李貴琪、吳明杰、林遠紹，無電極鍍鎳聚酯梭織物熱固性樹脂複合材料對電磁波遮蔽之效果，華岡紡織期刊，第十三卷，第二期(2006)

[4] Yujin Chen, Maosheng Cao, Qiang Xu, Jing Zhu, Electroless nickel plating on silicon carbide nanoparticles, China, Science Direct, Surface and Coatings Technology, 172, 90-94(2003)

[5] Shau-Chen Wu and Wen-Yen Chiang, The Studies of Electrically Conductive Polymer Composites, Master Thesis, Department Of Chemical Engineering, Tatung Institute Of Technology, Taipei, Taiwan, ROC, 15 (1989)

華岡工程學報第 28 期 民國一百年一月 中國文化大學工學院
Hwa Kang Journal of Engineering, Chinese Culture University 28 (2011) 97-104

奈米微粒對聚丙烯織物染色性能及抗UV性影響之研究

王權泉*、蔡志宸、陳建龍、楊南盈
中國文化大學紡織工程學系
*Email: ccwang@staff.pccu.edu.tw

摘要

本研究主要利用不同奈米超微粒子對聚丙烯織物進行染色處理，並改變奈米微粒濃度進行加工，於不同溫度下進行高溫高壓染色，針對不同奈米濃度處理織物染色性及抗 UV 性之變化予以探討。除了改變不同奈米超微粒子的用量外，也以不同分散性染料研究聚丙烯織物的耐光染色堅牢度、UPF 值，和不同奈米超微粒子對染料的影響性。由實驗結果顯示，經過不同奈米微粒處理後的聚丙烯染色織物，其抗 UV 性皆可得到良好的遮蔽效果，其中以奈米 TiO_2 抗 UV 光 UPF 值為最高，其添加濃度僅需 1%即有良好的之抗 UV 性，且不影響染色效果，其次為 ZnO，效果最小則為 SiO_2。另外經奈米微粒處理後的聚丙烯染色織物，其耐光、水洗牢度有提升的效果，染色性會隨著奈米濃度的增加而減少顏色深度。
關鍵詞:聚丙烯纖維、奈米微粒、抗紫外線、分散性染料

Effect of Different Nanoparticles on Disperse Dyeing and UV-cut of Polypropylene Fabrics

C. C. Wang*, C. C. Tsai, J. L. Chen, N. Y. Yang
Department of Textile Engineering, Chinese Culture University

ABSTRACT

The polypropylene knitted fabrics were dyed by disperse dyestuffs with different nanoparticles under high temperature and high press dyeing system. The influence of various nanoparticles and concentration on dyeability and dyeing fastness and UV-Cut were researched . From experimental results show that the UPF values were increased with increasing amount of nanoparticles in dyeing bath. Above all, the UV-Cut of treated fabrics were markedly enhanced and the effect for different nanopartcles is ranked TiO_2>ZnO>SiO_2. In addition, the lightness and washing fastness of dyed polypropylene fabrics treated with nanoparticles were improved but the colur yields of dyed fabrics decreased with increasing amount of nanoparticles.
Key word：Polypropylene,nano-particles, UV-Cut ,Disperse dyeing

一.前 言

聚丙烯因具有優越之強度、尺寸安定性、熱穩定性、耐磨、高透明性、抗化學性與物理機械性而受到注目，且發展速度極爲迅速，於衣料及產業用途上深具潛力及佔有廣大市場。但聚丙烯具有高度的順向結晶性及非極性結構，導致其親水性不佳，難與染料結合，因此迄今仍無法使用傳統染色方式來達到良好上色效果，如何提升親水性與染色性，乃是目前紡織業界不斷積極追求的目標，而本研究中所使用之基材即爲聚丙烯織物[1~3]。

在現今的社會中，抗紫外線是一個全球所注意重視的趨勢，透過衛星遙測發現，地球上空的臭氧量在最近二十年明顯下降，此現象造成地球大氣圈內紫外線輻射增加，破壞了原始平衡狀態，也影響到了自然界的生態和人類身體健康，故人們除了在尋求對自然的保護外，也在尋求自身的保護，其中以服裝、遮陽帽、洋傘等紡織品自然成爲防止紫外線過量輻射的主要屏障[4~6]。

爲了增加織物抗紫外線過量輻射，現今已有多種改善方式，其大致可分爲(1)在紡織階段加入遮蔽紫外線物質(2)後處理時，以紫外線吸收劑浸染於織物內部(3)以遮蔽紫外線物質吸附於纖維表面進行塗布加工方式。而奈米微粒即爲一種紫外線遮蔽劑，當紫外線照射時，可以被奈米微粒加工劑反射，或者是選擇性吸收紫外線，並將能量轉換低能量釋放，故織物經奈米微粒處理後具有紫外線防護功能。而本研究主要是利用後處理浸染之方法來處理聚丙烯[7]。

關於奈米微粒染色之方法已有許多相關之研究，如奈米微粒對 NOMEX 織物染色之研究，探討其防火性、染色性與染色堅牢度之改善，和將奈米微粒應用於聚酯織物，改善其染色性與物性，以及奈米粒子對尼龍 6 織物之耐日光性和染色堅牢度之影響，皆利用奈米粒子於染浴中先吸附纖維表面，並擴散至纖維內部而使纖維分子間作用力降低、分子間空隙變大，提高染料分子擴散易進入纖維內部進行染色，並利用奈米粒子之特性來提升某些應用性，而其研究成果皆可得到良好的應用性與染色性。[8~11]

而本研究主要利用奈米微粒處理技術，並將其方法應用於聚丙烯織物之分散性染料染色，探討不同分散性染料、不同種類及濃度的奈米微粒和不同的處理溫度對聚丙烯織物之染色性、染色堅牢度及抗 UV 性之影響，以期獲得良好的效果。

二. 理 論

(一)奈米加工劑抗紫外線原理

以光學原理而言，紫外線防護可由圖 1 表示，光照射到物體上，光的一部分被物體表面反射，一部分被物體吸收，其他的則透過物體。具有紫外線防護功能的纖維及製品，當紫外線照射時，除其中一小部分經由纖維織物上的孔隙透過外(其透過量視織物的組織和厚度而不同)，其他的不是被奈米加工劑反射，就是選擇性吸收紫外線，並將能量轉換成熱能或低能量而釋放，以達到抗紫外線的目的[11,12]。

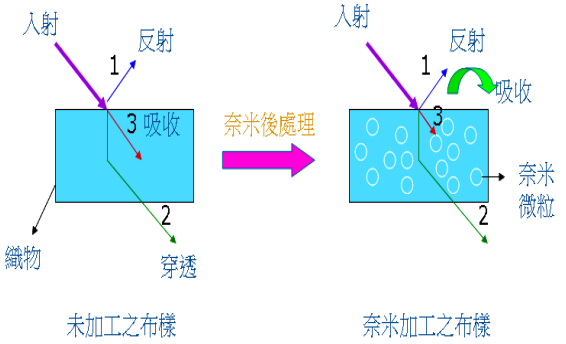


圖 1 奈米微粒抗紫外線理論

另外由於粒子尺寸下降，使能隙變寬，而導致光吸收帶移向短波方向，產生藍移現象(Blue shift)。對紫外光有強吸收作用，具有抗紫外線之功能，同時奈米微粒對可見光的反射率極低，吸收率極高，因此經奈米微粒處理過的染色織物，其織物色相會變深。

(二)分散性染料染色理論

分散性染料亦稱疏水性染料，屬非水溶性染料，染料粒子以分散劑分散於水中，形成均勻溶液，一般用於疏水性合成纖維之染色，主要是依靠纖維的緊密排列而使染料粒子挾持於纖維中而染色[13~15]。

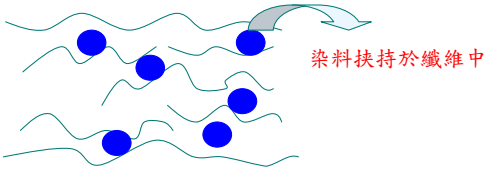


圖 2 分散性染料挾持示意圖

三.實 驗

(一)實驗材料

(1)聚丙烯針織布:100d(經圈x緯圈:40×45)

(2)分散性染料 EFDISPERSE RUBINE B (C.I Disperse Red13)(中孚染料股份有限公司出品)

(3)分散性染料 EFDISPERSE YELLOW (C.I Disperse Yellow82)(中孚染料股份有限公司出品)

(4)分散性染料 EFDISP.BRILLI.BLUE FR-S (C.I Disperse Blue356)(中孚染料股份有限公司出品)

(5)奈米微粒

A. 奈米級二氧化鈦(Titanium dioxide，TiO_2)(景明奈米生物科技公司)(particle size<20nm，金紅石)

B.奈米級氧化鋅粉末(Zine Oxine，ZnO)(東成昌奈米科技有限公司)(particle size=30nm)

C.奈米級二氧化矽(Silicon dioxide，SiO_2)(景明奈米生物科技公司)(particle size=10nm)

(6)皂洗劑(SUNMORL WX-24)(台灣日華公司出品)

(7)無水醋酸(CH3CO)2O(Acetic)(日本式藥工業株式會社出品)

(二)實驗設備

(1)高溫高壓染機:瑞比公司製造(最高可達 130℃)

(2)熱風循環式烘箱:興展儀器股份有限公司(最高可達 400℃)

(3)電子天秤:可測量重量 0.0001~150.0000g

(4)色彩分光分析儀:X-rite 8200，弘大科技股份有限公司

(5)氙弧燈光染色堅牢度測試:FM-2X-A，利寶展企業有限公司

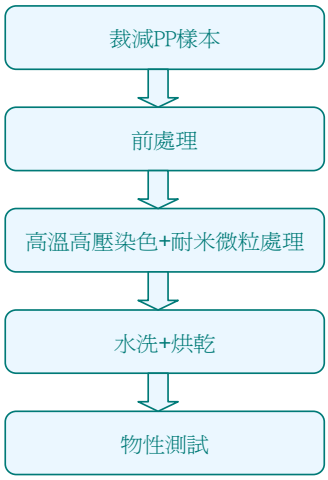
(6) 磁石攪拌加熱器(HMS-102-4): 可加熱至 350℃

(7)高速攪拌均質機:祥泰精機股份有限公司

(8)超音波水洗機:ELMA LC60/H

(9) 紫外光分析儀:UV-A 紫外線燈管(320nm~400nm)(揚程儀器工業有限公司製造)UV-B 紫外線燈管(290~320nm)(揚程儀器工業有限公司製造)

(三)實驗步驟



(四)研究方法

(1)皂洗

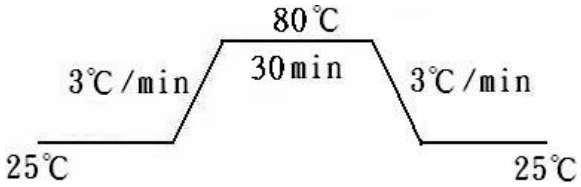
時間:30min

丙酮浸漬 30 秒

(2)熱水洗

溫度:80℃

時間:30min



(3)染色溫度:90、100、120℃

浴比:1:30

時間:60min

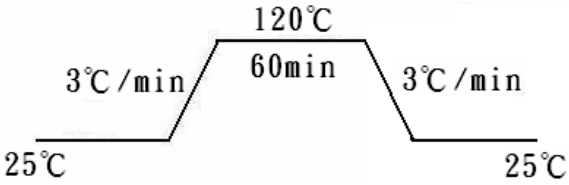
染料:分散性染料 5% o.w.f

助劑:(醋酸 1g/L)

奈米微粒:奈米二氧化鈦

奈米氧化鋅

奈米二氧化矽

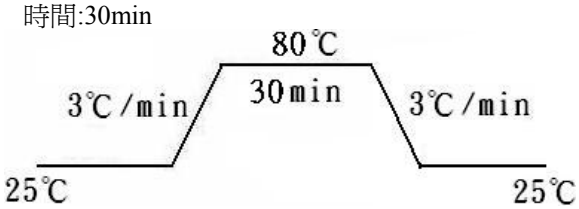


(4)皂洗

皂洗劑:2g/L

溫度:80℃

時間:30min



(5)烘乾

溫度:60℃

時間:30min

(6)K/S 值(色力度)

$$\frac{K}{S} = \frac{(1-R)^2}{2R}$$

K:光吸收係數

S:光散射係數

R:不透明物的反射

(7)紫外光分析儀測試:UPF 值，T%

方法:取樣本，大小 4cm×4cm，每塊樣本並測 8 次，即測得 UPF，穿透率 T%。

防紫外線係數(UPF)=

$\Sigma(E\lambda \times S\lambda \times \Delta\lambda)/\Sigma(E\lambda \times S\lambda \times T\lambda \times \Delta\lambda)$

Eλ:在波長 λ 時之紅斑權重指數

Sλ:在波長 λ 時之紫外線輻射通量密度(w/m2/nm)

Tλ:在波長 λ 時試片之紫外線透過率(%)

Δλ:波長間距(nm)

(8)UPF 等級

依據 AS/NZS Sun protective clothing-Evaluation and classification 將染色

PH:4.5

織物 UPF 值分等級

紫外線防護系數	等級	分類
40-50+	A	優良
25-39	B	很好
15-24	C	好

(9)耐氙弧燈光色堅牢度試驗(20hr)

依據CNS3846將色布試片(1㎝x6㎝)及標準藍色布標置於儀器中，試片經照光後，測其試片及藍色標之變褪色。

(10)耐水洗染色監牢度

依據 CNS1494 L3027 A-1 級，試片大小 100mm×40mm，肥皂 5g/L、液量 100ml、溫度 40±2℃、30min。取出試片水洗後、脫水、乾燥。

四.結果與討論

(一)改變染色溫度及奈米濃度之奈米濃度與 PP 染色性之關係

由表 1 可知當奈米濃度用量 0.5%時，其 K/S 值有提升的效果，使色相變深，但當奈米用量添加至 1%以上 K/S 值反而有下降的趨勢，由於奈米微粒用量的提升，造成粉末狀之奈米微粒將分散性染料掩蓋使得聚丙烯染色織物染色性下降。依據溫度的不同，K/S 值會隨著溫度的提高而增加，而經由不同奈米粒子種類、濃度與染色溫度處理後之 PP 織物其△E 值介於 0~3 之間，由數值顯示分散性染料 C.I Disperse Red13 對聚丙烯織物有很好的均染性質。而分散性染料 C.I Disperse Yellow82 對聚丙烯織物均染性稍顯略差。分散性染料 C.I Disperse Blue356 對聚丙烯織物之△E 值介於 0~2 之間，由此可知分散性染料 C.I Disperse Blue356 對聚丙烯織物也有良好的均染性。

表 1 改變奈米粒子種類、濃度與染色溫度對 PP 織物染色性之影響

奈米微粒	濃度	染色溫度																	
		CI Disperse Red						CI Disperse Yellow						CI Disperse Blue					
		90℃		100℃		120℃		90℃		100℃		120℃		90℃		100℃		120℃	
		K/S	ΔE	K/S	ΔE	K/S	ΔE	K/S	ΔE	K/S	ΔE	K/S	ΔE	K/S	ΔE	K/S	ΔE	K/S	ΔE
原布	0	1.10	1.98	1.69	2.12	3.53	1.69	0.94	2.87	0.95	1.86	0.94	3.04	1.17	1.79	1.17	1.94	3.67	2.19
ZnO	0.5	2.16	1.22	2.77	0.73	4.13	1.07	1.09	2.10	1.96	0.73	2.24	1.78	1.73	2.10	2.14	0.73	4.07	1.78
	1	1.73	0.82	2.46	1.26	4.04	1.69	1.19	2.74	1.42	1.26	2.16	1.75	1.16	2.74	1.48	1.26	2.63	1.75
	2	1.83	2.62	2.05	1.68	2.72	1.59	1.11	2.54	0.97	1.68	1.02	2.56	0.79	2.54	1.22	1.68	1.99	2.56
	3	1.26	1.98	2.09	1.56	2.62	1.72	0.86	2.99	0.99	1.56	0.71	2.78	0.61	2.99	0.80	1.56	1.89	2.78
TiO_2	0.5	2.39	1.61	2.65	1.33	4.34	1.42	1.30	1.67	1.67	1.33	1.96	2.19	1.20	1.67	1.36	1.33	3.72	2.19
	1	2.14	1.42	1.98	1.34	4.22	2.21	1.08	1.77	1.21	1.34	1.96	2.04	1.00	1.77	1.36	1.34	2.55	2.04
	2	1.70	0.87	2.42	1.86	3.57	1.74	1.03	1.76	1.14	1.86	1.46	1.64	0.80	1.76	1.25	1.86	1.98	1.64
	3	1.45	1.98	2.06	1.77	2.88	1.59	0.93	2.23	1.02	1.77	1.21	1.88	0.80	2.23	1.18	1.77	1.76	1.88
SiO_2	0.5	1.18	2.17	1.57	1.29	3.65	0.91	1.35	2.36	1.82	1.29	2.21	2.24	1.17	2.36	1.61	1.29	3.94	2.24
	1	1.12	2.54	1.24	1.12	3.53	0.94	1.20	2.12	1.25	1.12	1.88	1.88	1.22	2.12	1.37	1.12	3.55	1.88
	2	0.98	1.89	1.02	1.66	3.52	1.84	1.18	1.89	1.13	1.66	2.21	2.58	1.08	1.89	1.47	1.66	3.64	2.58
	3	0.71	2.11	1.19	1.90	3.13	1.35	1.05	1.54	1.19	1.90	2.07	2.91	0.75	1.54	1.08	1.90	3.69	2.91

由表 1 可以看出染色 K/S 值增加與奈米微粒濃度在添加量超過 1%以前呈現正相關性，但隨著奈米微粒濃度添加量超過 1%時出現逐步下降的趨勢，而ΔE 值介於 0~3 之間，均染性與濃度之增減並無明顯之關係，由此可看出較低奈米微粒濃度可以有效的提升 K/S 值，而△E 值則不受奈米濃度的影響而改變。

(二)添加不同奈米微粒對抗 UV 光穿透率(%)之影響

1、奈米 ZnO 粒子對抗 UV-A 光穿透率(T%)

在奈米材料中本研究所使用的是二氧化鈦、氧化鋅、二氧化矽，其中二氧化鈦、氧化鋅對光有很好的散射現象，對 UV 光有很好的吸收效果，具有對紫外線有很好的遮蔽效果。本研究乃添加不同種類奈米微粒對抗 UV 性(UPF，T%)之影響，其中 X 軸爲紫外線波長，UV-A 爲 320nm~400nm，UV-B 爲 290nm~320nm，波長間格長度爲 5，Y 軸爲透過率 T%數值，以它們的相對關係來表達探討添加不同種類奈米微粒對抗 UV 性(UPF 值 T%)的影響。由圖 3、4 可知改變奈米 ZnO 添加濃度對紫外線 UV-A、UV-B 透過率(T%)之比較與影響。由圖可知紫外線 UV-A、UB-B 透過率會隨著 ZnO 用量濃度而降低，由圖表可看出當用量 0%時是最高，當加入奈米 ZnO 時，曲線顯示馬上降低到接近 X 軸偏數值 0。由圖可知 ZnO 不用加到很高的濃度對紫外線即有良好的效果。

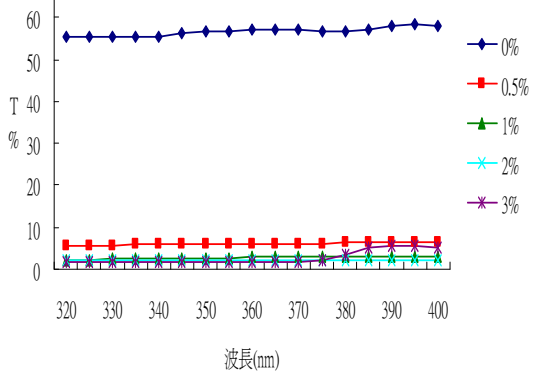


圖 3 奈米 ZnO 粒子對 UV-A 穿透率之關係(T%)

2、奈米 ZnO 粒子對抗 UV-B 光穿透率(T%)

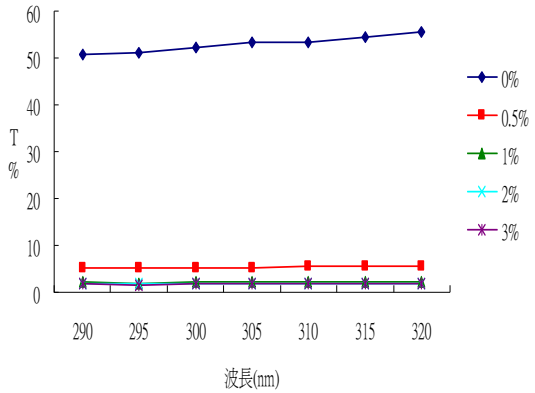


圖 4 奈米 ZnO 粒子對 UV-B 穿透率之關係(T%)

3、奈米 TiO_2 粒子對抗 UV-A 光穿透率(T%)

圖 5、6 爲改變奈米 TiO_2 添加濃度對紫外線 UV-A、UB-B 透過率(T%)之比較與影響。由圖 5 與圖 6 可看出聚丙烯染色織物添加奈米 TiO_2 抗紫外線效果，在 UV-A、UB-B 不同波長下皆有不錯的效果，與添加奈米 ZnO 透過率曲線線圖相似，T%曲線接近 X 軸偏數值 0，由圖 5 可知奈米 TiO_2 具有頗佳的抗紫外線效果，而添加濃度不需太高即有良好的遮蔽效果。

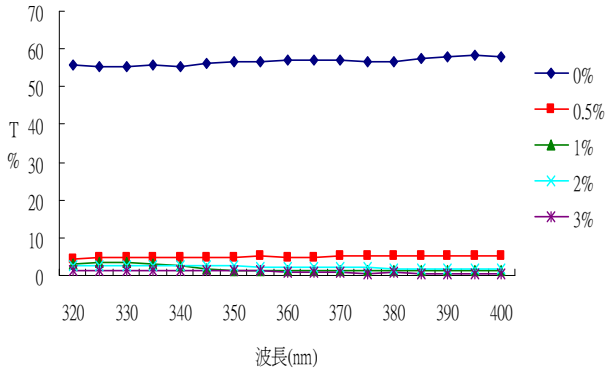


圖 5 奈米 TiO_2 粒子對 UV-A 穿透率之關係(T%)

4、奈米 TiO_2 粒子對抗 UV-B 光穿透率(T%)

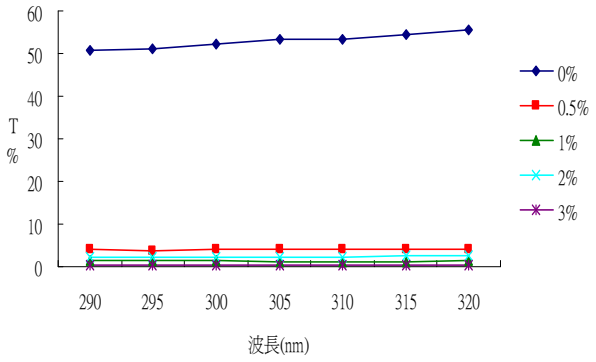


圖 6 奈米 TiO_2 粒子對 UV-B 穿透率之關係(T%)

5、奈米 SiO_2 粒子對抗 UV-A 光穿透率(T%)

圖 7、8 改變奈米 SiO_2 添加濃度對抗紫外線 UV-A、UV-B 透過率(T%)之比較與影響。圖中可看出曲線分布透過率分佈在 20~40 之間，透過率已高達 40%，遮蔽率的效果較差，當添加濃度提升至 3%也是與 0%時曲線接近，由此圖比較顯示奈米 SiO_2 抗紫外線效果是比較沒這麼顯著的。

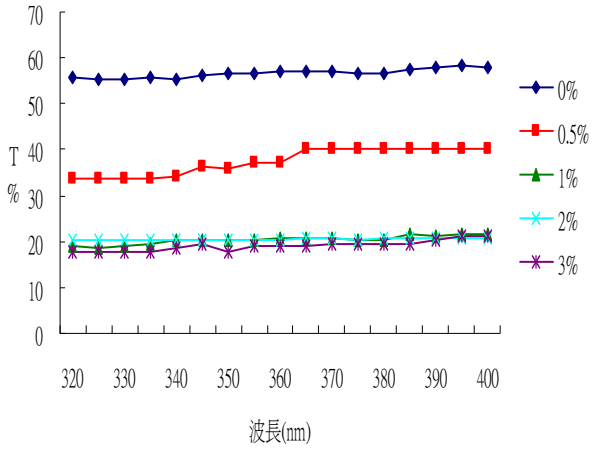


圖 7 奈米 SiO_2 粒子對 UV-A 穿透率之關係(T%)

6、奈米 SiO_2 粒子對抗 UV-B 光穿透率(T%)

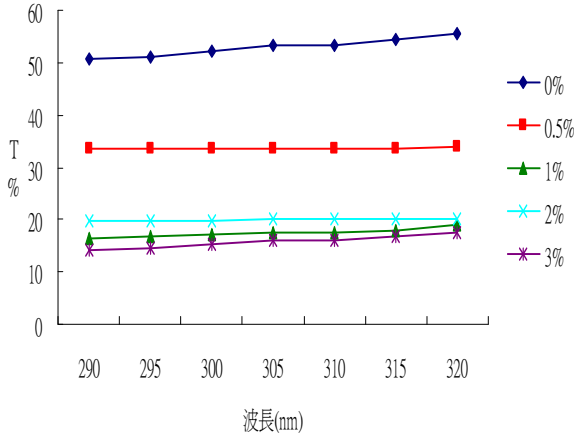


圖 8 奈米 SiO_2 粒子對 UV-B 穿透率之關係(T%)

(四)添加不同奈米微粒對 PP 染色織物抗 UV 性之影響

經不同奈米微粒處理後之聚丙烯染色織物，其抗 UV 性皆有顯著的提升。由表 2 可知當未添加奈米微粒之聚丙烯染色織物其穿透率高達 60%，UPF 數值接近於 0，等級不具有抗紫外線指數分級之標準，當奈米濃度添加 0.5%時，穿透率降至 10%以下，顯示有良好的遮蔽效果。當濃度增加至 1%以上穿透率接近於 0，UPF 值更高達 164，紫外線防護等級皆屬於 A 級。其中以奈米 TiO_2 的遮蔽、抗紫外線效果最佳，其次爲奈米 ZnO 而奈米 SiO_2 的效果較不顯著。

表 2 不同奈米種類與濃度對 PP 織物抗 UV 性之影響

奈米種類	濃度(%)	染色物之UV光之穿透率(T%)			染色物之UPF值			染色物UPF等級		
		Red	Yellow	Blue	Red	Yellow	Blue	Red	Yellow	Blue
ZnO	0	58	54.7	52.3	1.673	2.532	2.174	無效	無效	無效
	0.5	6.31	7.88	5.42	54.21	48.36	64.31	A	A	A
	1	2.99	4.89	2.13	91.43	77.23	98.33	A	A	A
	2	2.23	3.77	2.57	95.92	84.21	94.67	A	A	A
	3	5.12	5.53	2.43	67.74	67.18	97.76	A	A	A
TiO2	0	53.2	60.3	52.6	1.673	2.532	2.174	無效	無效	無效
	0.5	4.57	5.32	5.15	74.87	66.43	68.44	A	A	A
	1	1.41	2.21	1.33	117.4	98.21	110.8	A	A	A
	2	1.71	2.13	0.73	111.9	98.47	138.2	A	A	A
	3	0.46	1.98	0.54	164.5	113.2	148.7	A	A	A
SiO2	0	56.1	55.7	59.9	1.673	2.532	2.174	無效	無效	無效
	0.5	41.3	39.4	42	4.683	4.482	4.775	無效	無效	無效
	1	21.4	27.6	21.1	10.337	12.643	10.389	無效	無效	無效
	2	20.6	26.5	21.8	9.473	12.216	10.484	無效	無效	無效
	3	21.2	23.1	20.9	10.633	10.958	9.882	無效	無效	無效

表 3 奈米粒子濃度與色彩值及染色堅牢度之關係

奈米微粒	濃度	染料種類	色彩值						染色監牢度	
			L	a	b	c	h	K/S	耐光	耐洗
未添加	0	Red	50.98	16.97	14.13	22.08	39.79	3.53	1	3
		Yellow	78.46	16.05	51.31	53.76	72.63	1.88	1	3
		Blue	53.58	-2.22	-41.72	41.78	266.96	3.67	1	3
ZnO	0.5	Red	40.82	13.2	10.12	16.63	37.46	4.13	4	3~4
		Yellow	82.42	6.75	60.66	61.04	83.65	2.24	1	3~4
		Blue	46.1	2.14	-34.87	34.94	273.51	4.07	1	3~4
	2	Red	47.05	19.22	7.81	20.74	22.12	2.72	4	4
		Yellow	85.25	4.34	32.11	32.4	82.31	1.02	2	3~4
		Blue	65.11	-2.66	-26.78	26.91	264.34	1.99	2	3
TiO2	0.5	Red	44.82	20.42	6.32	21.38	17.21	4.34	3	4
		Yellow	77.85	17.92	59.69	62.32	73.29	1.96	2	3~4
		Blue	54.23	-2.98	-37.7	37.82	265.48	3.72	2	4
	2	Red	42.02	16.63	11.04	19.96	33.59	3.57	4	4
		Yellow	80.03	12.26	51.25	52.69	76.55	1.46	2	3
		Blue	66.07	-4.28	-28.9	29.21	261.57	1.98	2	4
SiO2	0.5	Red	43.28	12.44	10.59	16.34	40.4	3.65	3	4
		Yellow	75.29	21.61	55.41	59.47	68.7	2.21	1	3
		Blue	55.06	-2.31	-39.93	39.99	266.69	3.94	2	3
	2	Red	49.45	15.78	11.56	19.56	36.22	3.52	3	4
		Yellow	77.31	18.98	54.29	57.51	70.73	2.21	1	3~4
		Blue	55.46	-3.89	-39.94	40.13	264.44	3.64	2	3~4

※註耐日光牢度依褪色時間分 1~8 級，1 爲最差 8 爲最優異

(五)奈米微粒對 PP 染色性之影響

當 PP 織物經奈米微粒處理過後，其中以 C.I.Disperse red13 和 C.I.Disperse yellow82 所染的 PP 織物在色彩值方面變異性較大，C.I.Disperse Blue356 所染的 PP 織物則影響不大，如表 3 所示。其中 C.I.Disperse Red13 的紅色染料在處理過後，其 a 值有減少的趨勢，有偏綠光的走向，表示其紅色有轉淡的現象，彩度值(C)也有下降的趨勢。另外，C.I.Disperse yellow82 染料在經過奈米添加後，其彩度值(C)明顯下降，而且 b 值也明顯下降，有偏藍光的走向表示織物在處理過後會形成淡黃色。而添加奈米微粒後織物其耐光、水洗牢度皆有提升的效果。

五.結論

(1) 奈米微粒處理後的聚丙烯染色織物，染色性會隨著奈米濃度的增加而減少顏色深度，易有淡色現象。

(2) 聚丙烯染色織物△E 值不會因爲奈米微粒種類、濃度與染色溫度的條件而改變，三種分散性染料對聚丙烯織物皆有良好的均染效果。

(3) 聚丙烯染色織物其 K/S 值會隨著染色溫度的提高而增加。

(4) 聚丙烯染色織物經添加奈米微粒後，皆有良好 UV 光遮蔽之效果。

(5) 添加奈米 Zn0、TiO_2 之 UPF 值皆屬於 A 級，其中 SiO_2 較不顯著。

(6) 聚丙烯染色織物經奈米微粒處理後，其水洗、耐光牢度皆可得到提升效果。

謝誌

本論文研究期間，感謝紡織綜合研究所沈鈺諄先生提供儀器協助和黎瀚揚學長、劉麗君學姊的幫助與指導，在此致上萬分的感謝。

參考文獻

1. Chyung-Chyung Wang, Cheng-Chi Chen, Crosslinking of Cotton Cellulose with succinic acid in the presence of titanium dioxide nano-catalyst under UV irradiation, Journal of Sol-Gel Science and Technology, Vol.40,31-38(2006)
2. 黎瀚揚，王權泉，奈米超微粒子對 Nomex 織物耐光染色堅牢度之改善及物性影響之研究，華岡紡織期刊，第十二卷，第四期 (2005)
3. 林勁宇，王權泉，不同奈米微粒對聚酯染色織物耐光染色牢度改善及物性影響之研究，華岡紡織期刊，第十二卷，第四期 (2005)
4. Chyung-Chyung Wang, Cheng-Chi Chen, Physical Properties of the Crosslinked Cellulose Catalyzed with Nano Titanium Dioxide under UV Iradiation and Eectronic field, Applied Catalysis A-General, Vol.293, 171-179 (2005)
5. 蔡穎鈞，王權泉，奈米二氧化鈦及氧化鋅應用於尼龍 6 織物抗光老化及改善染色堅牢度之研究，華岡紡織期刊，第十二卷，第一期 (2005)
6. 吳琇蓉，王權泉，奈米級 TiO2 應用於 Nomex 織物耐光染色堅牢度改善之研究，華岡紡織期刊，
7. Y.C. Tsai, C.C.Wang, Improve the Ageing and Fastness Properties of Dyed Nylon Fabrics Treated with Nanograde Titanium dioxide and Zinc oxide, The First Taiwan/Japan International Polymer Processing Conference,93~98 (2005).
8. 劉麗君，王權泉，添加不同奈米微粒於水性聚氨基甲酸酯對抗紫外線及物性影響之研究，華岡紡織期刊第十三卷，第二期(2006)
9. H. W. Chen, C.C.Wang, A Novel Method of Non-formaldehyde Crease-resist Finishing for Cotton Fabrics by Photocatalysis of Nanometer Grade TiO2 Complex under UV Exposure，Polymer Processing Society，G10, 168(2002)
10. 林水泉，淺談紫外線遮蔽纖維製品，絲織園地，第二十四期，66~72 (1998)
11. 吳偉欽，紫外線輻射之防護性紡織品，織布會刊，第三十期，29~33 (2002)
12. 邱美珠，趙豫州，織物防紫外線性能評估方法之研究 國立台北科技大學 有機高分子研究所
13. 林建明、邱顯堂，耐隆 6 添加二氧化鈦微粒複合材之加工，國立台灣科技大學纖維及高分子工程研究所碩士學位論文，台北，中華民國，9-15(2003)
14. S.M. Burkinshaw, Young-A. Son and S.N. Chevlid, The fastness to repeated washing of reactive dyes and pre-metallised acid dyes on nylon 66, Dyes and Pigments 45, 43-49(2000)
15. S.M. Burkinshaw, P.E. Froehling and M. Mignanelli, The effect of hyperbranched polymers on the dyeing of polypropylene fibers, Dyes and Pigments, 53, 229–235(2002)

華岡工程學報第 28 期 民國一百年六月 中國文化大學工學院
Hwa Kang Journal of Engineering, Chinese Culture University 28 (2011) 105-110

比較兩種不同聚乙烯塑膠粒經微細發泡後之差異

李貴琪[1*]、佘岱螢[1]、游輝仁[2]、邱永和[3]
[1]中國文化大學紡織工程學系
[2]中國文化大學奈米材料研究所
[3]南緯實業股份有限公司
*Email: lee@staff.pccu.edu.tw

摘要

本研究以兩種不同聚乙烯塑膠粒，經超臨界微細發泡製成之發泡粒進行比較，利用不同溫度及壓力條件下，分別測試其發泡孔徑、外觀色澤等。實驗研究得知，由發泡效果之比較性，得知低密度聚乙烯因其分子結構較高密度聚乙烯脆弱，故其發泡孔徑較為不規則且巨大，而其外觀色澤則不均勻。

關鍵詞：超臨界流體、微細發泡、聚乙烯

The Study of Compare Two Different Polyethylene Plastic Pellets by Microcellular

K. C. Lee[1*], T. Y. She[1], H. J. Yu[2], Y. H. Chiu[3]
[1]Department of Textile Engineering, Chinese Culture University

[2]Institute of Nanomaterials, Chinese Culture University

[3] Tex-Ray Industrial Co., Ltd

ABSTRACT

In this study, we use the two different polyethylene pellets by the microcellular, to compare foam aperture and appearance color in different temperature and pressure. The results show LDPE's molecule structure is fragile than HDPE's, LDPE foam aperture is more large and irregular, and it is appearance of the color is uneven.

Keywords: supercritical fluids, microcellular, polyethylene

一、前言

發泡塑膠主要以塑膠作爲基材，因塑膠材料內部含有大量氣泡，所以發泡塑膠也可說是以氣體作爲填充材料的複合塑膠。但與純塑膠相比，它具有許多的優點，如比強度高、質輕、具有吸收衝擊強度的能力、隔音和隔熱性能好等[1]。

而微細發泡塑膠與純塑膠和小泡孔泡沫塑料或低發泡塑膠相比，由於其泡孔較小且均勻，故進行微孔處理過的塑膠製品具有抗衝擊、耐疲勞、

隔熱、隔音和吸震等功能，具有不發泡塑膠或純泡沫塑料無法比擬的優點[2]。

微細發泡聚乙烯(PE)材料，可廣範應用在：鞋材、包裝緩衝材、汽車與航太工業、運動器材、纖維、複合材料、生醫材料等多項相關工業。

二、理論

(一)超臨界流體

物質通常具有固、液、氣三相，一般純物質在不同壓力及溫度下，物質會呈現不同的相態，當該物質同時超過本身的臨界溫度及壓力時，通常此相態被稱爲超臨界狀態，如圖 1 所示[3]。

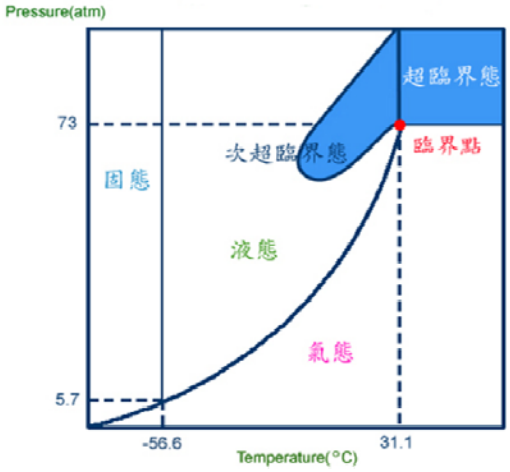


圖 1　CO_2 壓力、溫度相位圖

超臨界狀態下物質的物理特性介於氣相與液相間，超臨界流體具近似液體的密度，故超臨界流體具有如液體般的溶解力(solvating power)；同時具近似氣體般的擴張係數(diffusion coefficient)，因此其空間內質傳速率較液體快；另外超臨界流體的黏度(viscosity)近乎氣體，因此其質傳阻抗(mass transfer resistance)比液體小而具有像氣體般的滲透力。其氣體、液體與超臨界流體之間的特性表如表 1 所示[4]。

(二)超臨界微細發泡射出成型

微細發泡射出成型利用 N_2 或 CO_2 具有低超臨界壓力及溫度的本質，使超臨界流體與熔膠混合成均勻單相體，在射出過程中因瞬間高壓降使超臨界流體在模內成核，形成均勻微細氣泡，熔膠經模具冷卻固化將氣泡包入塑料內，達到微細發泡的效果。

表 1　氣、液體與超臨界流體的特性表

特性	液體	超臨界流體	氣體
密度 (g/cm^3)	0.80~1.00	0.20~0.90	(0.6~2.0) ×10^{-3}
黏性 (cp)	(0.3~2.4) ×10^{-2}	(2.0~9.9) ×10^{-4}	(0.53~3.5) ×10^{-4}
擴張性 (cm^3/s)	(0.5~2.0) ×10^{-5}	(0.5~3.3) ×10^{-4}	0.01~1.0

超臨界微細發泡主要分四個步驟：

(1) 建立單相溶液

在螺桿預塑過程中，將氮氣或者二氧化碳加以高壓後注入螺桿中與熔膠均勻混合成單相體。

(2) 均勻成核

熔膠注入模穴時，利用壓力下降所產生的熱力學不穩定性，使之快速地形成相分離，使氣體自熔膠中析出，瞬間形成無數個成核點而形成大量的微細氣泡。

(3) 氣泡核膨脹成長

成核作用產生後，氣體擴散至氣泡，使其氣泡成長，此時壓力與溫度爲調節氣室成長的條件。

(4) 成型

將熔膠注塑到模穴內後，經由模具冷卻至產品固化[5]。

三、實驗

(一)實驗材料

(1)二氧化碳：太乙氣體有限公司，CO_2

(2)高密度聚乙烯：鞋技中心，化學式：C_2H_6，分子量：30，軟化點：120~125 ℃，熔點：126~136 ℃

(3)低密度聚乙烯：鞋技中心，化學式：C_2H_6，分子量：30，軟化點：100 ℃， 熔點：108 ℃

(二)實驗設備

(1)超臨界軟體處理機：台灣超臨界科技股份有限公司，TST-SFE 02

(2)空壓機：KOSTA，AB-3030

(3)冷凝機：東達科儀企業有限公司，TIT BL-20

(4)掃描式電子顯微鏡：JEOL，JSM-6510

(5)恆溫冷卻循環裝置：EVELA，CA-1111

(6)電子天秤：PRECISA，XS 365M

(7)照相機：彩虹先進公司，EOS 7D

(三)實驗條件

(a)聚乙烯塑膠粒發泡加工條件

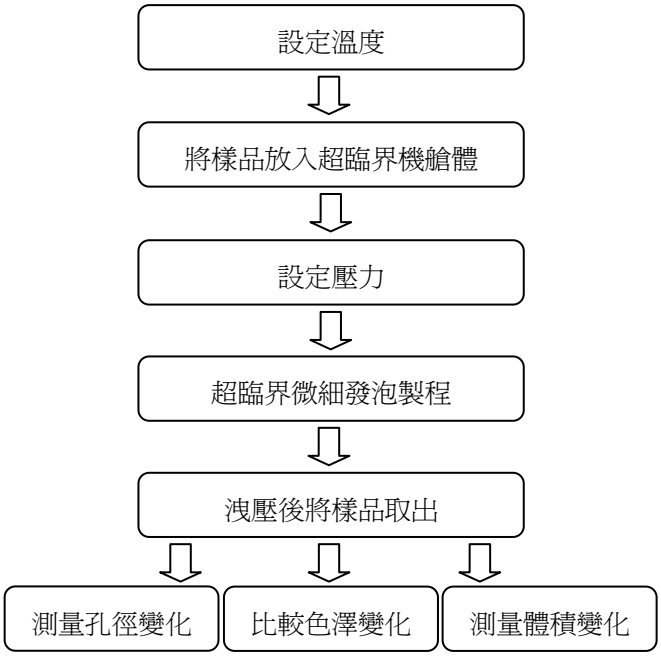
表 2 高、低密度聚乙烯塑膠粒發泡加工條件表

加壓時間 (min)	120	120	120
溫度(℃)	70	80	90
壓力(MPa)	20	20	20
洩壓速率 (MPa/s)	0.2	0.2	0.2

(b)體積膨脹率計算公式：

$$\frac{\text{發泡後體積} - \text{原體積}}{\text{原體積}} \times 100\% = \text{膨脹率}$$

(四)實驗步驟



四、結果與討論

4-1 不同溫度下高、低密度聚乙烯發泡孔徑之比較

圖 2 至圖 7 為不同溫度條件下的高、低密度聚乙烯發泡粒切面之 SEM 圖，圖 2、圖 4 中，並無明顯的氣泡孔徑，因尚未有足夠之溫度使高密度聚乙烯分子結構鬆散，故無法使其氣泡核成長形成明顯之微小氣泡，而圖 6 之高密度聚乙烯因溫度接近玻璃轉移溫度，故發泡效果較佳。由圖3、圖 5、圖 7 中，可知低密度聚乙烯孔徑較為巨大且不規則，而高密度聚乙烯則較為平整且形狀較偏向圓形。因低密度聚乙烯之分子結構較為脆弱，故在相同溫度、壓力條件下，超臨界流體較易進入材料內部進行發泡，故其孔徑近似於裂縫，較為細長且巨大。

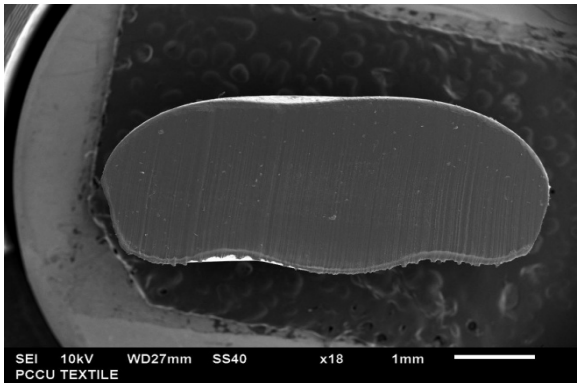


圖 2 溫度 70℃壓力 20MPa 之高密度聚乙烯切面

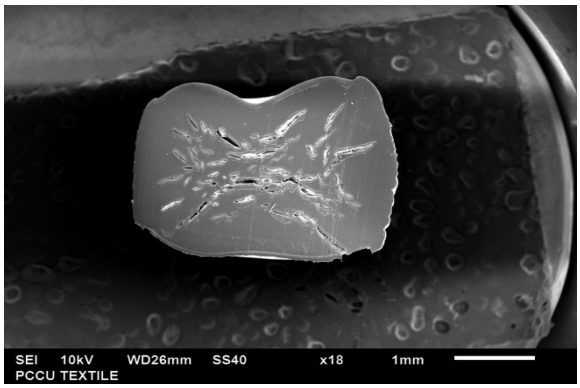


圖 3 溫度 70℃壓力 20MPa 之低密度聚乙烯切面

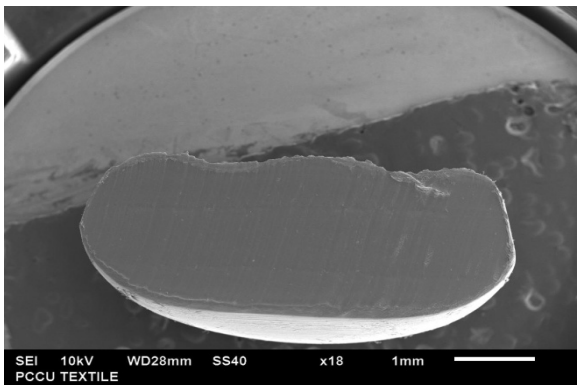


圖 4 溫度 80℃壓力 20MPa 之高密度聚乙烯切面

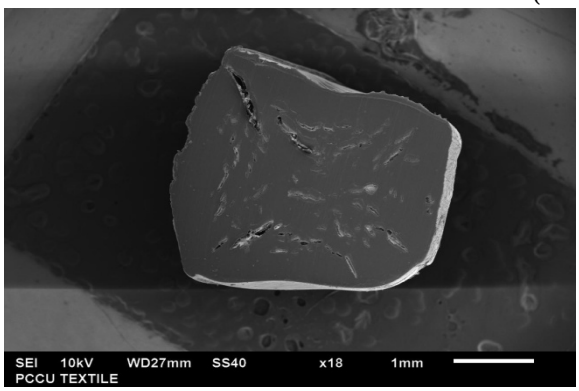


圖 5 溫度 80℃壓力 20MPa 之低密度聚乙烯切面

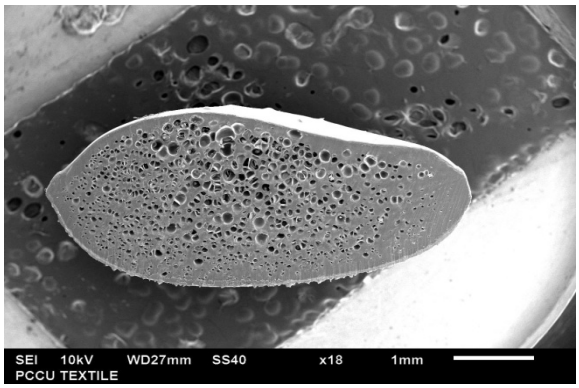


圖 6 溫度 90℃壓力 20MPa 之高聚乙烯切面

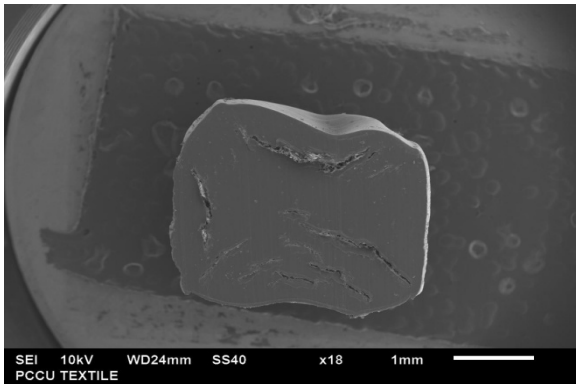


圖 7 溫度 90℃壓力 20MPa 之低密度聚乙烯切面

4-2 不同溫度下聚乙烯外觀色澤之差異

圖 8 至圖 13 爲不同溫度下，高、低密度聚乙烯外觀色澤之照片，塑膠粒中間白色部分爲發泡結構層，而從圖 9、圖 11、圖 13 中可知低密度聚乙烯知白色部分較爲分散，且色澤較不明顯，在圖 13 中才略可觀察出色澤之改變;而圖 8、圖 10、圖 12 中高密度聚乙烯則較爲集中，且色澤較爲明顯，而圖 12 更可明顯看出色澤轉變爲偏白之粉紅。

從 4-1 節可知低密度聚乙烯發泡孔徑較不規則且分散，而高密度聚乙烯則較爲集中且均勻，故得知低密度聚乙烯之外觀色澤較爲不均。且可從 4-1 節之 SEM 圖推斷，當發泡孔徑越多且均勻時，色澤則越偏向不透明之粉紅。

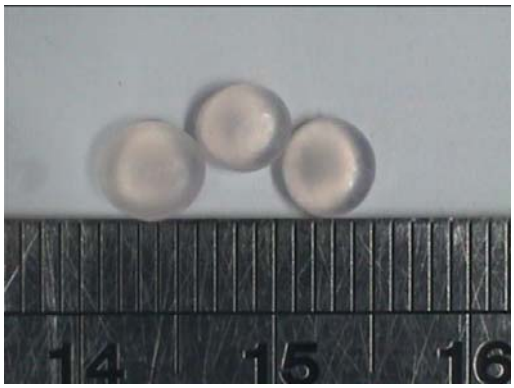


圖 8 溫度 70℃，壓力 20MPa 之高密度聚乙烯

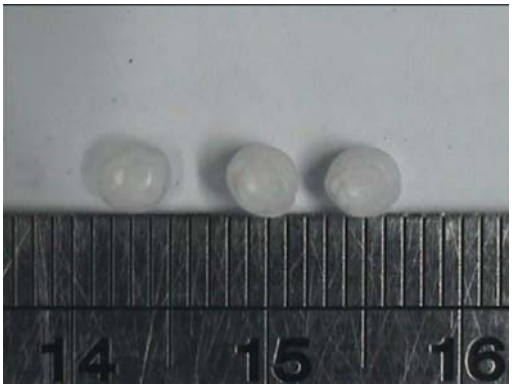


圖 9 溫度 70℃，壓力 20MPa 之低密度聚乙烯

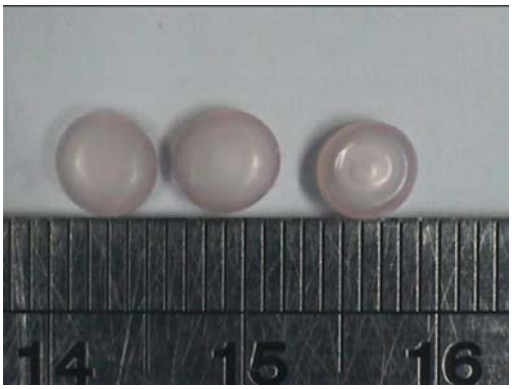


圖 10 溫度 80℃，壓力 20MPa 之高密度聚乙烯

圖 11 溫度 80℃，壓力 20MPa 之低密度聚乙烯

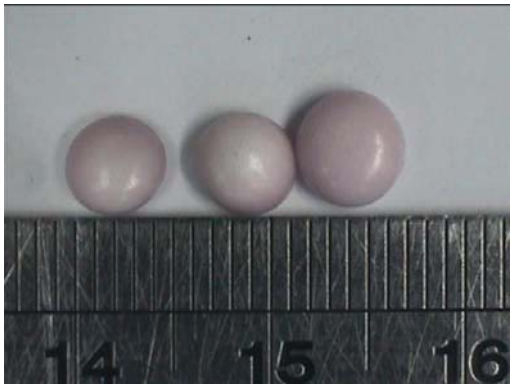


圖 12 溫度 90℃，壓力 20MPa 之高密度聚乙烯

圖 13 溫度 90℃，壓力 20MPa 之低密度聚乙烯

4-3 不同溫度條件下聚乙烯發泡後之體積變化

因塑膠粒之體積並不固定，故在實驗前先測量塑膠粒之體積，發泡後再次測量體積，將所得之數據帶入公式，從而得知其發泡率，表 3 為不同溫度下，高、低密度聚乙烯之膨脹率比較，從表中可知低密度聚乙烯體積膨脹率較高密度聚乙烯高。

從表 3 中可得知，在 90℃時，高、低密度聚乙烯之體積膨脹率分別為 27.38%、35.29%，為最佳值，故可與 4-1 節對應，當發泡情形越佳時，膨脹率也隨之增加。而因低密度聚乙烯其結構較為鬆散，故超臨界流體易進入材料內部，使其發泡，而導致其膨脹率較高密度聚乙烯來的高。

表 3 不同洩壓速率，聚乙烯的體積平均及膨脹率

	70℃	80℃	90℃
高密度聚乙烯	11.39%	18.75%	27.38%
低密度聚乙烯	17.65%	23.53%	35.29%

五、結論

(1) 低密度聚乙烯之發泡孔徑較為細長且巨大，而高密度聚乙烯則近似圓形且孔徑大小均勻；而不論高、低密度聚乙烯越接近玻璃轉化溫度時，其發泡氣孔越趨近均勻。

(2) 高密度聚乙烯發泡結構較為集中且外觀色澤較為偏向紅色，而低密度聚乙烯則較分散且色澤變化較不明顯。

(3) 高密度聚乙烯溫度為 90℃時，其膨脹率為 27.38%，而低密度聚乙烯溫度為 90℃時，其膨脹率為 35.29%，故低密度聚乙烯發泡效果較高密度聚乙烯佳。

參考文獻

[1] 鐘明修、陳夏宗，"超臨界微細發泡射出成型製程特性之研究"，博士論文，中原大學機械工程研究所，台灣，第 17- 40 頁，2006。

[2] 林朝慨、宋上漢、陳健忠、鄭鍵棋、顏守舷、李興煜，"PP/SWN 奈米複合材料之製備與機械性質研究"，清雲學報，台灣，第二十七卷，第二期， 第 21-29 頁，2007。

[3] 黃文雄、伍秀菁、汪若文、林美吟，儀器總覽 4 化學分析儀器，國家實驗研究院儀器科技研究中心，台灣，第 110-113 頁，1998。

[4] S. Rizvi, A. Benado, J. Zollweg and J. Daniels,

"Supercritical fluid extraction: Fundamental principles and modelling methods". Food Technol., 40, pp.55-65, 1986.

[5] 王維達、林朝慨、鄭鍵棋〝超臨界流體微細發泡射出成型製程對聚丙烯/SWN 複合材料機械性質之研究〞，清雲科技大學機械工程學系，台灣，第 15- 18 頁，2007。

華岡工程學報第 28 期 民國一百年六月 中國文化大學工學院
Hwa Kang Journal of Engineering, Chinese Culture University 28 (2011) 111-116

導電錐形螺旋銅線複合板材對電磁波吸收之影響

李貴琪[1*]、黃建豪[1]、游輝仁[2]、黃宏旭[3]
[1] 中國文化大學紡織工程學系
[2] 中國文化大學奈米材料研究所
[3] 金鼎聯合科技纖維股份有限公司
*Email: lee@staff.pccu.edu.tw

摘要

本研究主要利用不飽和聚酯樹酯作為基材，將錐形螺旋銅線依正、反、交錯排列，置入不飽和聚酯樹脂當中，製成複合材料之電磁波吸收體，最後導入電流測量其吸收效果。銅線圈數分別為 5、15、25 圈，間距為 1cm、1.5cm、2cm，各別探討其電磁波吸收效果，當圈數為 25 圈時，間距為 1cm，圈數 25 圈，導入電流 20V 其最高吸收值為 44.1dB。隨著錐形螺旋銅線圈數的上升，能適時使電磁波入射波在錐形螺旋銅線間形成干涉共振，能有效的將電磁波轉換成熱能散失。

關鍵詞：錐形螺旋銅線、複合材料、電磁波吸收體

Conductive conical spiral copper composite Board on the effect of electromagnetic wave absorption

K. C. Lee[1*], C. H. Huang[1], H. J. Yu[2], H.H. Huang[3]
[1]Department of Textile Engineering, Chinese Culture University
[2]Institute of Nanomaterials, Chinese Culture University
[3]TIS United Technologies Fiber Co.,Ltd.

Abstract

The main advantage of this study of unsaturated polyester resin as base material, the conical spiral copper positive and negative, staggered, in unsaturated polyester resin, made from a composite of electromagnetic wave absorber, last import current measurement of the absorption effect. Copper Coils respectively 5, 15, 25, spacing of 1 and 2, 1.5 ㎝,, severally and explore its electromagnetic wave absorption effect, when the number of turns is 25 laps, the spacing is 1 and the number of turns 25 laps, importing current 20V its maximum absorption value 44.1dB. As the number of conical spiral copper coils, timely the rise of the electromagnetic wave incident wave in between conical spiral copper, interference resonance can be converted into thermal energy loss of electromagnetic waves.

Key words: Conical spiral copper, composite materials, electromagnetic wave absorber

一、前言

隨著電器使用率越來越普及，電磁波對人體影響也越來越大，如我們常用的微波爐、手機、電視、電腦，這些電磁波會在人們不知不覺中，對人體造成傷害，如中樞神經系統、身體免疫功能、心血管、血液…等皆會引響身體健康，若長期暴露在高劑量的電磁輻射中，甚至會導致癌症的疾病，故電磁波屏蔽的話題受到各國的重視[1]。

一般在選擇導電填充物時，除了物質本身的導電性外，還要考慮材料之安定性及成本，如表 1 所示，在所有材料中金和銀是具有良好的導電性及化學安定性，其缺點就是價格昂貴，而銅的體積電阻僅次於銀，價格比較低，固本實驗選用銅線作爲製作複合板材之材料[2,3]。

表 1 部分導電金屬的導電性質

	比重 (gms/cm^3)	電阻係數 (ohm-cm)
銀(Silver)	10.5	1.6×10^{-6}
銅(Copper)	8.9	1.8×10^{-6}
金(Gold)	19.3	2.3×10^{-6}
鎳(Nickel)	8.3	10×10^{-4}
鉑(Platinum)	21.5	21.5×10^{-5}

二、理論

（一）電磁波吸收原理

在電磁波吸收體後貼一金屬板，當入射之電磁波穿透吸收體後碰到金屬板反射回來，藉著控制吸收體內材料的特性，讓電磁波有適當的振幅，與相位在吸收體內形成多重反射，當電磁波行進過程中，碰到吸收體表面時，部份能量將被反射，另一部份電磁波被射入導體，其能量將被反覆共振吸收轉變爲電流產生熱能，而電磁波總反射量減少，達到電磁波吸收效率之提升，如圖 1 所示：

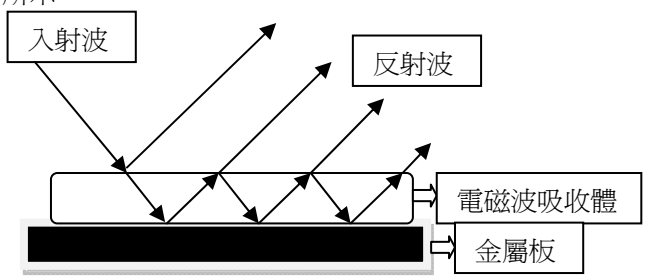


圖 1 電磁波吸收原理

（二）電流磁效應

電流通過吸收體時，它的四周就發生磁場;若將一根有電流的導線彎成一個圓環，則磁力線都順著同一方向穿過線環，在環裡的磁力線，都爲同一方向，從螺紋環一端進去，一端出來，如圖 2 所示[4,5]：

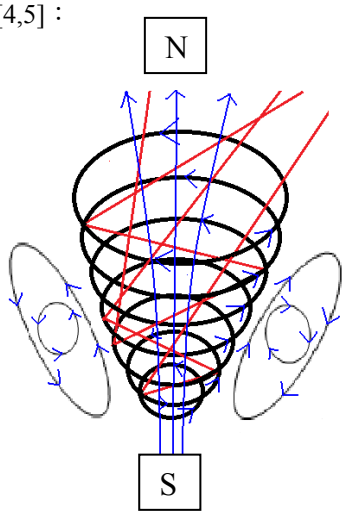


圖 2 螺線管之磁力線

三、實驗

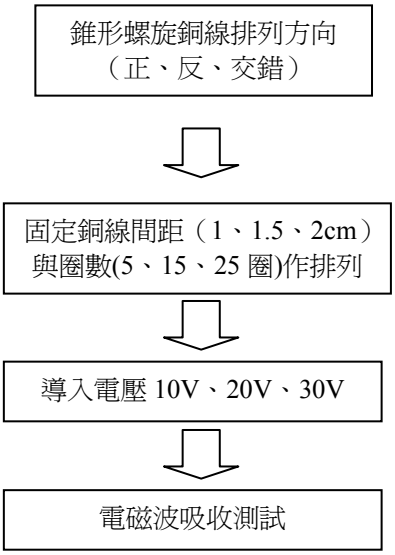
（一）實驗材料

1.不飽和聚酯樹脂：(順丁烯二酸20%、丙二醇15%、乙二醇15%、二乙二醇15%、苯乙烯單體35%)，(拓南化工)
2.硬化劑：過氧化丁酮，$C_4H_{10}O_4$，(拓南化工)
3.銅線直徑規格：φ0.32mm(線電阻：$3\times10^3\Omega$/m)

（二）實驗儀器

1.網路分析儀：Agilent Technologies E5071B (300 KHz ~ 8.5 GHz)
2.號角天線：AH-118(1 GHz ~ 18 GHz)
3.金屬板：面積15cm2，厚度0.5cm
4.光纖傳輸線：Agilent Technologies N6314A、N6315A、N3839A(Type-N、50Ω、RF Cables)
5.攪拌機：型號DC-1S，瓦數100W，轉速80-1150rpm。

（三）實驗流程



（四）實驗條件

1.錐形螺旋銅線由下而上圈數漸小稱之爲正面，如圖3所示。

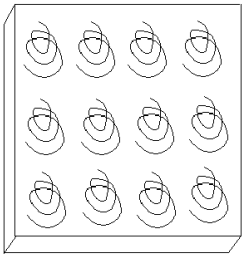


圖3　銅線圈數由下而上漸小

2.錐形螺旋銅線由下而上圈數漸大稱之爲反面，如圖4所示。

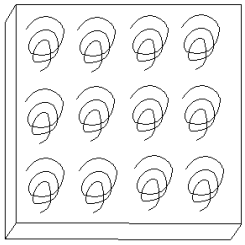


圖4 銅線圈數由下而上漸大

3.錐形螺旋銅線交錯排列，如圖5所示。

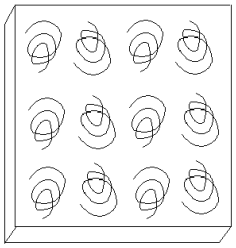


圖 5 正反交錯排列之錐形螺旋銅線

4.錐形螺旋線圈複合板材厚度爲1.8cm，長與寬其長度皆爲16.5cm。

四、結果與討論

（一）正面螺旋銅線對電磁波吸收效果

1.正面錐形螺旋銅線導入電壓10、20、30V固定間距1cm於不同圈數對電磁波吸收值之分析

圈數5圈，由於尚未有足夠的立體空間，所以其吸收效果較爲不佳，但透過增加電流至30V，透過電流磁效應原理能夠使其吸收效果增加至20.6dB。

圖6 爲正面錐形螺旋銅線（線徑:0.32mm）在間距1cm下之電磁波吸收值。由圖6可看出隨著圈數增加到達一定圈數，到達25圈時期銅線之立體空間足夠，能夠將入射之電磁波於銅線內部進行多重反射，使波與波間之能量相互抵消，將電磁波由電磁能轉換成熱能散失。

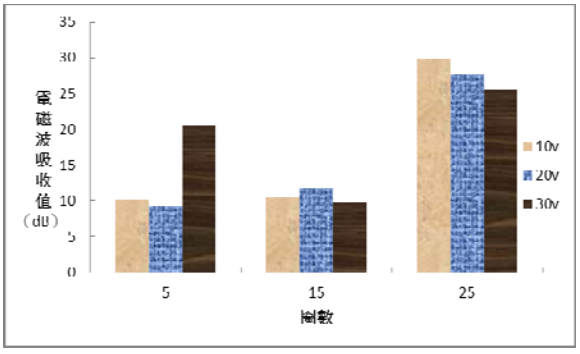


圖 6 正面錐形螺旋銅線在間距 1cm 下之電磁波吸收值

2.正面錐形螺旋銅線導入電壓10、20、30V固定間距1.5cm於不同圈數對電磁波吸收值之分析

圖 7 爲正面錐形螺旋銅線在間距 1.5cm 下之電磁波吸收值。由圖 7 可看出當圈數增加至 25 圈時，通入電壓 30V 能形成較強之電流磁效應產生較強之磁場將入射之電磁波相互抵消，其電磁波吸收效果爲 24.8dB。

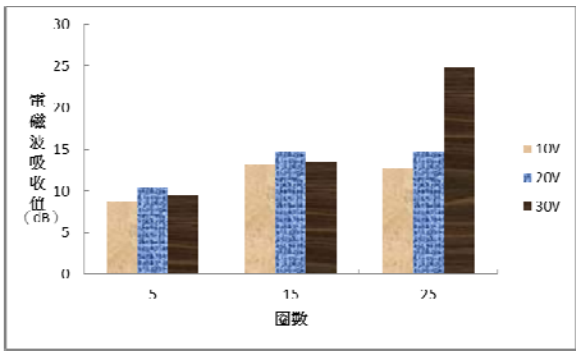


圖 7 正面錐形螺旋銅線在間距 1.5cm 下電磁波吸收值

3.正面錐形螺旋銅線導入電壓10、20、30V固定間距2cm於不同圈數對電磁波吸收值之分析

圖 8 爲正面錐形螺旋銅線在間距 2cm 下之電磁波吸收值。由圖 8 可看出圈數之改變其電磁波吸收效果較不明顯，但圈數 15 圈通入電壓 30V，其入射銅線之電磁波與銅線通電之電流磁效應能使電磁波在吸收體內進行有效的干涉共振運動，其電磁波吸收值爲 15dB，但由於間距過於鬆散故電磁波入射後多半打到後方之金屬板，無法讓入射之電磁波於吸收體內進行有效的干涉共振運動，故在此間距下其吸收值並沒有很高。

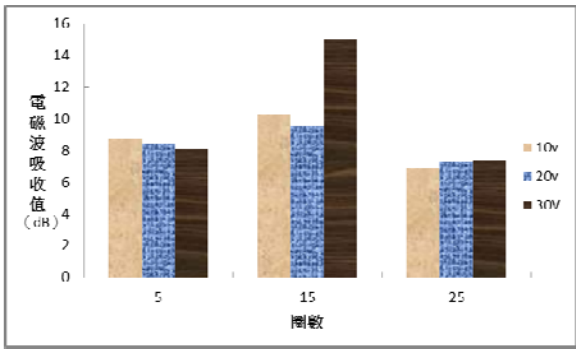


圖 8 錐形螺旋銅線在間距 2cm 下電磁波吸收值

（二）反面螺旋銅線對電磁波吸收效果

1.反面錐形螺旋銅線導入電壓10、20、30V固定間距1cm於不同圈數對電磁波吸收值之分析

在間距 1cm，圈數 25 圈其吸收值高達 44.1dB，主要是因圈數上升其吸收效果越加，能夠使入射之電磁波於銅線內進行多重反射，搭配電流磁效應，能夠將電磁波轉換成熱能散失。

圖 9 爲反面錐形螺旋銅線在間距 1cm 下之電磁波吸收值。由圖 9 可看出，圈數 5 圈由於立體空間不足，故導入電流後其電流磁效應強度較弱，故其電磁波吸收效果較不明顯。

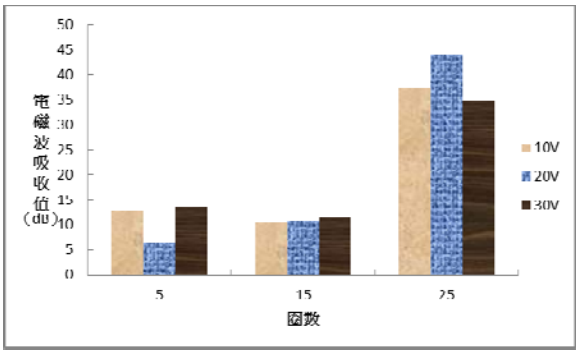


圖 9 反面錐形螺旋銅線在間距 1cm 下電磁波吸收值

2.反面錐形螺旋銅線導入電壓10、20、30V定間距1.5cm於不同圈數對電磁波吸收值之分析

圖10爲反面錐形螺旋銅線在間距1.5cm下之電磁波吸收值。同理，由圖 10 可看出隨著圈數增加其吸收效果越佳，且在此間距下圈數 25 圈之銅線排列較適當，隨著電壓上升能形成較強之磁場，與入射之電磁波相抵消，將電磁波轉換成熱能散失。

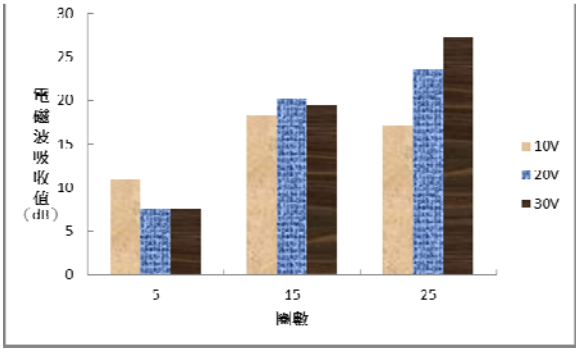


圖 10 反面錐形螺旋銅線在間距 1.5cm 下電磁波吸收值

3.反面錐形螺旋銅線導入電壓10、20、30V固定間距2cm於不同圈數對電磁波吸收值之分析

圖 11 爲反面錐形螺旋銅線在間距 2cm 下之電磁波吸收值。由於間距的上升，其吸收值明顯的下降，主要是因間距過於鬆散，電磁波不易進入銅線內，波與波間之相互抵消作用減小，造成其吸收效果不佳。

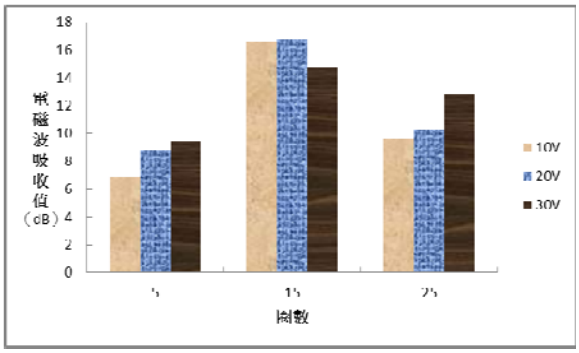


圖 11 反面錐形螺旋銅線在間距 2cm 下電磁波吸收值

比較正面與反面之錐形螺旋銅線板材，其反面吸收效果會比正面佳，主要是因反面之錐形螺旋銅線上方圈數較大，能涵蓋吸收較多的電磁波進入銅線內部進行多重反射及干涉共振運動，同理；而正面因上方圈數較小，入射於銅線內部之電磁波相對較少，造成吸收效果不佳。

（三）正反交錯螺旋銅線對電磁波吸收效果

1.交錯錐形螺旋銅線導入電壓10、20、30V固定間距1cm於不同圈數對電磁波吸收值之分析

圖 12 爲正反交錯錐形螺旋銅線在間距 1cm 下之電磁波吸收值。由圖 12 可看出隨著圈數上升，其電磁波之吸收效果越佳。而 5 圈之螺旋銅線因圈數不足，多半電磁波入射後打到金屬板反射，因圈數較小，電磁波入射進入銅線所產生之干涉共振運動較少，造成吸收效果不佳。

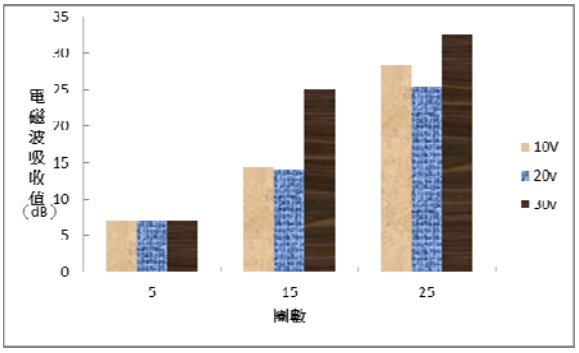


圖 12 正反交錯錐形螺旋銅線在間距 1cm 下電磁波吸收值

2.交錯錐形螺旋銅線導入電壓10、20、30V定間距1.5cm於不同圈數對電磁波吸收值之分析

圖 13 爲正反交錯錐形螺旋銅線在間距 1.5cm 下之電磁波吸收值。由圖 13 可看出圈數上升，磁場增強，但因銅線交錯排列，造成磁場方向不同，因此電磁波吸收效果降低，且在 25 圈電壓 10V 時有最高吸收值 31.2dB，隨著電場與磁場之影響，吸收值反而下降。

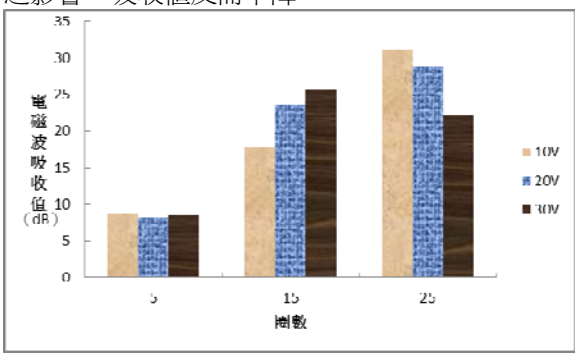


圖 13 正反交錯錐形螺旋銅線在間距 1.5cm 下電磁波吸收值

3.交錯錐形螺旋銅線導入電壓10v、20v、30v固定間距2cm於不同圈數對電磁波吸收值

圖 14 爲正反交錯錐形螺旋銅線在間距 2cm 下之電磁波吸收值。由圖 14 可看出當間距增加至 2cm，其吸收效果降低，但在 25 圈下，其立體空間足夠故能夠將入射之電磁波有效於銅線內部行多重反射進行干涉共振運動，將電磁波轉換成熱能散失。

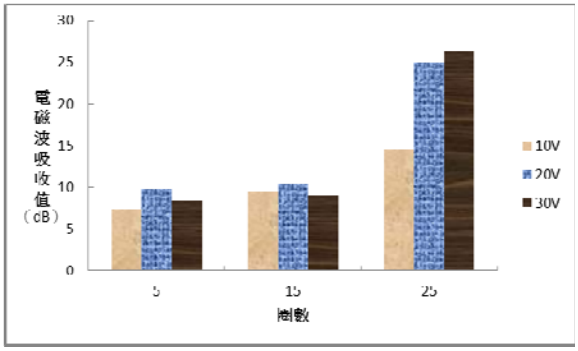


圖 14 正反交錯錐形螺旋銅線在間距 2cm 下電磁波吸收值

五、結論

（一）錐形螺旋行銅線於反面測試，其最佳效果爲 44.1dB，主要是因上方圈數較大，能涵蓋吸收較多入射波，能有效的於銅線內部多重反射進行干涉共振運動，與電磁場相互共同作用，能有效的將電磁波轉換成熱能散失。

（二）交錯排列之螺旋銅線於 25 圈隨電壓上升吸收值下降主要是因銅線方向不同，受到電廠與磁場作用其電磁波吸收效果反而下降。

（三）銅線圈數增加，當電磁波入射後，所進行的多重反射次數也增加，能夠有效地於吸收體內部進行干涉共振運動，將電磁波轉換成熱能散失，故電磁波吸收效果會隨著圈數增加而上升。

參考文獻

[1]鄭國彬、鄧道興、謝宗燕，電磁波屏蔽用紡織品的最新發展與應用，纖維工業專輯，第十八卷，第二期，110-126(2003)

[2]游錫揚，纖維複合材料，國章出版社，台北，中華民國，27(1992)

[3]林伯在、金惟國，表面鍍鎳層環氧樹脂微粒子之製備，及與環氧樹脂系傘混硬化後之溫度係數電阻行爲，國立清華大學化學工程研究所碩士論文，新竹，中華民國，17(2001)

[4]張錦裕、李彰祐，二維電磁感應加熱之傳導分析，國立成功大學機械工程學系碩士論文，台中，中華民國，2-6（2005）

[5]童成章，電學及磁學原理，五洲出版社（2002）

華岡工程學報第 28 期 民國一百年六月 中國文化大學工學院
Hwa Kang Journal of Engineering, Chinese Culture University 28 (2011) 117-124

胺基修飾燻矽固體吸收劑與二氧化碳之反應性研究

劉建麟、莊芝懿、林仁斌*
中國文化大學化學工程與材料工程學系
*E-mail: lrb@faculty.pccu.edu.tw

摘要

本研究先將燻矽試樣水合漿化後，再以含浸法將二異丙醇胺(DIPA)或胺丙基三乙氧基矽烷(APTS)負載於燻矽載體上，探討製備條件對吸收劑物理結構性質的影響，並以熱重分析反應裝置評估吸收劑之熱穩定性與其對 CO_2 的捕捉能力。研究結果顯示 DIPA/燻矽及 APTS/燻矽固體吸收劑之氮氣吸附/脫附等溫線都屬 type IV 等溫線，且遲滯現象屬 H3 型。燻矽試樣在 DIPA 或 APTS 負載後，由於小孔洞(＜2 nm)與部分中孔洞(~10 nm)的阻塞而造成吸收劑的比表面積大幅降低。固體吸收劑在初始階段吸收 CO_2 的反應是非常快速的，但在 20 分鐘後反應的速率則趨於平緩，反應時間持續至 1 小時吸收劑的利用率仍未達完全。以 DIPA/燻矽重量配比為 1.0/1 所製得的固體吸收劑在 30℃時有最大 CO_2 捕捉量(1.25 mmol/g 吸收劑)，而此時的 DIPA 利用率只達到 66.6%。不完全的胺基利用率可以其受 CO_2 質傳或吸附程序的控制來解釋。反覆多次吸附/脫附的測試結果顯示固體吸收劑是可再生且其吸收 CO_2 的程序是完全可逆的。

關鍵字: 二氧化碳、燻矽、固體吸收劑、醇胺、矽烷

Study on Reactivities of Amino-Modified Silica Fume Solid Sorbents for CO_2 Capture

Jian-Lin Liu, Chih-Yi Chuang, Ren-Bin Lin*
Department of Chemical and Materials Engineering, Chinese Culture University

Abstract

In this work, the diisopropanolamine (DIPA) and 3-aminopropyltriethoxy silane (APTS) were respectively supported on the hydrated silica fume particles by the impregnation method. The influences of the sorbent preparation parameters on the structural property of sorbents were investigated. The CO_2 capture capacities and the thermal stabilities of the prepared solid sorbents were evaluated using the TGA reaction apparatus. The results showed that all the sorbents exhibited a type IV isotherm with a hysteresis loop of type H3. Due to the blocking of micropores (＜2 nm) and some mesopores (~10 nm), the specific surface areas of the sorbents were significantly reduced after DIPA or APTS was supported. The CO_2 adsorption reaction was very rapid in the initial period, but the conversion leveled off after about 20 min, and the sorbent was incompletely converted for the reaction time as long as 1 hr. The DIPA/silica fume sorbent prepared at a weight ratio of 1.0/1 had a maximum CO_2 capture

capacity of 1.25 mmol/g sorbent at 30℃, while only 66.6% of the DIPA utilization was achieved. The incomplete amino utilization could probably be explained by the limitations of CO_2 mass transfer or absorption process. Furthermore, the multiple adsorption/desorption cycling results indicated that the solid sorbents are regenerable and their CO_2 absorption process is fully reversible.

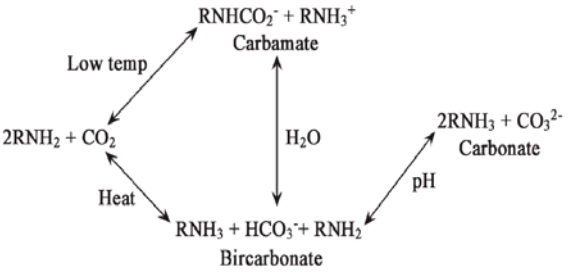
Keywords: carbon dioxide, silica fume, solid sorbents, alkanolamine, silane.

一、簡介

工業革命以來人類經濟活動快速成長，大幅開發、利用地球天然資源，如大規模砍伐森林，以取得耕地，大量開採和利用煤、石油和天然氣等化石燃料，以取得能源。這些人類活動使得大氣中的 CO_2 等溫室氣體濃度升高，導致的溫室效應與日俱增。溫室效應若未減緩，對於整個地球生態環境、氣候變異、人類活動都會有深遠且無法挽回的影響[1]。

如何抑制溫室氣體二氧化碳的排放，主要有以下四個方向可以努力:(1)節約能源、提高能源轉換及使用效率，減少化石燃料使用量以減低排放量。(2)使用低碳或無碳能源做爲替代能源，例如：天然氣、甲醇、氫氣、水力、太陽能、生質能、風力、地熱、海洋能。(3)對於已經產生出來的 CO_2 使用分離固定技術，在排放源的管末進行處理，減低其排放於大氣的量。(4)調整產業結構，減少高耗能產業的發展。目前常用的二氧化碳的分離固定技術大致可以分爲幾類[2]：(1) 物理吸收法 (2) 化學吸收法(3) 物理吸附法(4) 低溫蒸餾法 (5) 膜分離法。將 CO_2 分離後，則有再利用及儲存棄置等處置法[3]。如製造乾冰；將 CO_2 轉成碳酸鹽類、或碳氫化合物等以固定住 CO_2，或得到有用的產品以供資源再利用；利用深海的高壓將固化的 CO_2 棄置於海底；將 CO_2 灌入開採過的油田和氣田內。

就二氧化碳的化學吸收法而言，常用的吸收劑是液體溶液，目前商業化的液體化學吸收是以醇胺系列爲主，其優點在於吸收劑與 CO_2 的反應是可逆的，可藉由提高操作溫度而將已被吸收的 CO_2 氣體釋出並加以收集，因此，吸收劑可再生使用而減少操作成本。胺溶液吸收 CO_2 的機制[3]如圖一所示，可見醇胺溶液吸收 CO_2 所生成的反應產物會受到反應溫度、醇胺濃度與溶液的酸鹼值的影響。



圖一 Reaction sequence for CO_2 capture by liquid amine-based systems [3].

液體化學吸收法常用之醇胺[2, 3]有一級醇胺如 MEA (Monoethanolamine)、二級醇胺如 DEA (Diethanolamine)、DIPA (Diisopropanolamine)及三級醇胺如 MDEA (N-Methyl Diethanolamine)及 TEA (Triethanolamine)等。一級和二級醇胺的鹼性較強，故其與二氧化碳反應有較快的速率，但由於其反應的產物爲 Carbamate，使得其吸收容量限制於 0.5 mol-CO_2/mol-醇胺。三級醇胺因鹼性較弱而降低與 CO_2 反應的速率，然而其吸收容量卻能達到 1 mol-CO_2/mol-醇胺。近來，立體障礙醇胺如 AMP (2-Amino-2-Methyl-l-Propanol)被使用來代替傳統醇胺作爲吸收劑，因其具有較快之吸收速率且能如三級醇胺具有 1 mol-CO_2/mol-醇胺的高吸收容量。另外，混合醇胺也是目前研究方向之一，因混合醇胺(MEA-MDEA, MEA-TEA, DEA-AMP, MEA-AMP, DEA-TEA-AMP, and etc.)是溶液中混有兩種以上之醇胺溶液，綜合各級醇胺的優點，故可具有快吸收速率與高吸收容量之特性。

由於吸收劑均爲鹼液，會對吸收塔、再生塔及周邊管線造成腐蝕作用；再者，設備體積大、操作變數多，因此操作也較爲繁瑣。使用固體吸收劑吸收 CO_2 將可有設備簡單、加裝容易，固體產物易於處理等優點。然而，對於固體吸收劑很少人使用，值得進一步研究開發。乾式吸收法與濕式吸收法不同，在於使用固體吸收劑取代液體吸收劑，目前研究中之固體吸收劑如 K_2CO_3(＜

145℃)及 CaO(＜860℃)，可見其操作溫度範圍大於濕式吸收法，且具有 CO_2 去除效率高、吸收劑使用率高、耗損低、設備體積小、壓降低、能源耗用低等優點。未來在實際應用上，若能創造吸收後生成物之再利用價值，則此技術將會更具有競爭力[2]。

目前開發中的胺系固體吸收劑之研究動向主要在修飾固體載體表面以衍生出能與 CO_2 反應的胺官能基(Amino Functional Group, NH_2-)。文獻上 ，載體的選擇主要有高碳飛灰(High-Carbon Fly Ash) [4, 5]、活性碳(Activated Carbon) [6, 7]、奈米碳管(Carbon Nanotube) [8]、中孔隙的二氧化矽(Mesoporous Silica) [9-13] 以及三氧化二鋁(Alumina) [14]等載體。常見的胺基表面修飾方法可分爲兩大類，第一類是以含浸法在載體表面負載不同濃度的特定醇胺分子。醇胺的選用除了上述常用於液體吸收法的醇胺外[2, 3, 5]，尚有使用 PEI (Polyethyleneimine) [6, 13, 15] 、DETA (Diethylenetriamine) [6, 14] 與 PEG (Polyethylene Glycol) [15]等。第二類則是在載體表面進行多樣的官能化與表面衍生化反應，目的在於使所製備的固體吸收劑能具有與 CO_2 反應的胺基組成。

燻矽(Silica Fume)爲一種含矽合金或玻璃製作時產生的固體廢棄物[17, 18]，具有高比表面積與高吸水性，目前文獻上以燻矽作爲吸收二氧化碳固體吸收劑之載體的研究並不多見[19]，因此，若能有效利用其爲吸收劑載體，除了將有利於二氧化碳溫室氣體減量之化學吸收法的應用技術，亦會有助固體廢棄物之減量與回收，將可提昇這種固體吸收劑在商業化時的競爭力，是很值得研究的方向。

因此，本研究將以胺基(DIPA或APTS)修飾燻矽載體使其實際應用爲吸收溫室氣體CO_2之固體吸收劑，探討固體吸收劑製備方法與程序參數，對吸收劑物理結構與熱穩定性質的影響，並以熱重分析氣固反應系統測定吸收劑對CO_2的捕捉能力，以得到吸收劑的最佳成分組成、製備條件以及反應程序之操作條件。

二、實驗與分析方法

(一) 燻矽固體吸收劑之製備

以水固比10/1秤取一定量去離子水與燻矽試樣並置入250毫升PP瓶中，在恆溫(65℃)水槽中以沉水式磁石攪拌器攪拌16小時後，移入真空烘箱中以常溫(25℃)乾燥8小時，再以105℃繼續乾燥8小時後，將水合漿化後的燻矽試樣研磨成粉狀備用。

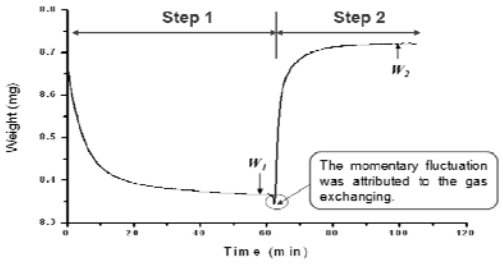
將特定濃度的DIPA或APTS水溶液與漿化後的燻矽試樣依不同重量組成比例(1/10~1/1)秤重後，置入250毫升PP瓶中，於特定溫度下(65℃)混合攪拌一段時間(16小時)後，移入真空烘箱以常溫(25℃)乾燥8小時，再以溫度105℃繼續乾燥8小時，以去除殘存的去離子水溶劑，再將試樣研磨成粉狀吸收劑試樣。

(二) 固體吸收劑之特性分析

吸收劑試樣之結構性質如比表面積、孔隙體積分佈等，是以Micromeritics ASAP2010比表面分析儀測得氮氣的吸附/脫附等溫線數據，並利用BET法與BJH法等加以分析。吸收劑之成分組成以及熱化學安定性，則以PerkinElmer Pyris 1 熱重分析儀(TGA)加以檢測。固體吸收劑試樣之外觀樣貌則是以Hitachi S-2400掃描式電子顯微鏡(SEM)加以觀察。

(三) 吸收劑之CO_2捕捉量測定

將固體吸收劑試樣(~10 mg)置於熱重分析儀[5, 14, 20, 21]內之白金試樣盤中，在105℃下先通入150 mL/min的100%N_2氣體1小時以得到完全乾燥之APTS/燻矽固體吸收劑(因DIPA在高溫下易揮發損失。因此，使用DIPA/燻矽固體吸收劑時，則在30℃下通入150 mL/min的100%N_2氣體1小時)，然後於特定的反應溫度下(30-70℃)通入150 mL/min的100% CO_2氣體，紀錄吸收劑試樣在反應時間(0-1小時)內之重量變化。典型的吸收劑重量隨反應測試條件與時間之變化曲線，如圖二所示。



圖二 Typical CO_2 absorption operation curve of a silica fume solid sorbent.

藉由式一可求得固體吸收劑之CO_2捕捉量[20]。吸收劑的胺基利用率則是以所負載胺基的實際CO_2捕捉量與理論捕捉量的比值來估算。

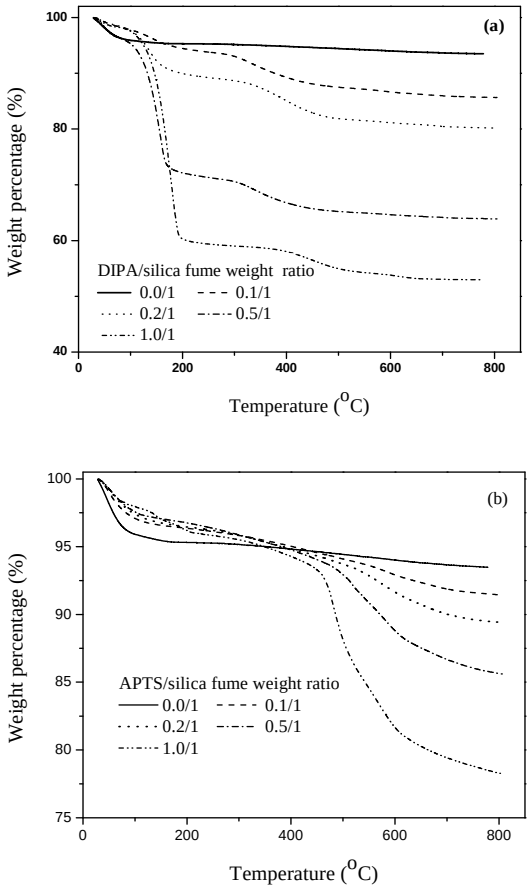
$$CO_2\text{捕捉量} = \frac{W_2 - W_1}{W_1 \times M_{CO_2}} \times 10^3 \quad \text{(mmole/g sorbent)} \quad (1)$$

反應後之吸收劑試樣經提昇操作溫度至105℃，分析CO_2的釋出量隨操作溫度變化情形，並再次在相同反應條件下測定CO_2的捕捉量，反覆多次實驗以了解吸收劑之再生性與吸收程序的可逆性。

三、結果與討論

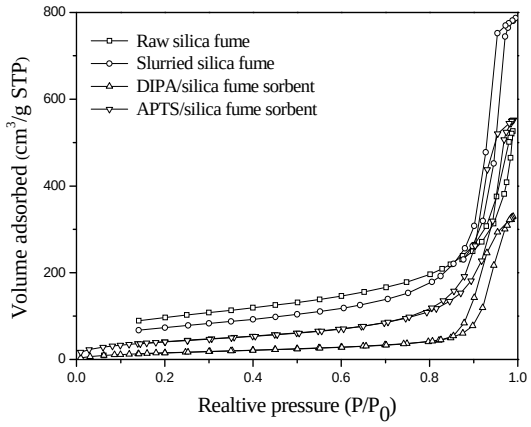
(一) 吸收劑之熱穩定性與結構性質

圖三為所製備之 DIPA/燻矽吸收劑與 APTS/燻矽吸收劑之熱穩定測試(在氮氣氣氛下以10℃/min 的升溫速度測試試樣之重量變化至 800℃)結果。由圖中可知，吸收劑在 120℃之前的重量損失是來自於吸收劑表面所吸附的水分子與氣體的逸失。由圖三(a)可觀察到 DIPA/燻矽吸收劑分別在 140~200℃之間以及 300~450℃間有顯著的重量下降(分別來自於醇與胺的熱分解)；而 APTS 則是在溫度範圍為 400~600℃之間分解(如圖三(b)所示)，由此可知所製備 APTS/燻矽固體吸收劑的熱穩定性優於 DIPA/燻矽固體吸收劑。儘管如此，在本研究的 CO_2 捕捉測試溫度範圍(30~70℃)與試樣製備操作溫度(~105℃)下，所製備吸收劑的熱穩定性大體上來說是安定的。此外，由最終殘留重量百分率所估算的 DIPA 與 APTS 負載量大致上皆於製備條件所設定之重量比例相符(重量誤差約為±4%)。



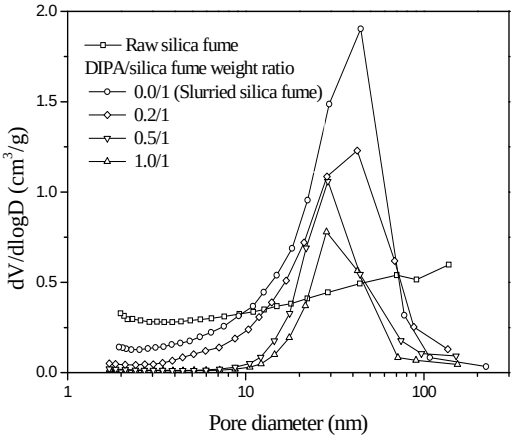
圖三 Thermal stability tests for (a) the DIPA/silica fume sorbents and (b) the APTS/silica fume sorbents with various weight ratios.

本研究藉由氮氣吸脫附數據並利用 BET 與 BJH 方法來得到固體吸收劑的比表面積與孔隙大小分佈。圖四為典型的燻矽原料、漿化後的燻矽試樣、DIPA/燻矽吸收劑以及 APTS/燻矽吸收劑之氮氣吸附/脫附等溫線。根據 IUPAC 的分類，燻矽試樣、DIPA/燻矽吸收劑與 APTS/燻矽吸收劑之氮氣吸附/脫附等溫線都屬 Type IV 等溫線，常見於具有中孔隙範圍孔洞的物質，且氮氣吸脫附曲線具有一遲滯現象。由圖四可知，這些固體吸收劑試樣的遲滯現象屬於 H3 型，常見於一般的平板型孔隙或是由小顆粒間空隙所形成的孔洞所致。



圖四 N_2 adsorption/desorption isotherms of the raw and slurried silica fume, the APTS/silica fume sorbent and DIPA/silica fume sorbent prepared with a weight ratio of 0.5/1.

圖五為燻矽試樣與不同重量配比之 DIPA/燻矽固體吸收劑的孔隙體積大小分佈圖。由圖中可見，除了燻矽試樣外，所有的吸收劑具有的尖峰孔徑(Peak Pore Diameter) 皆大約落在 30-50 nm 之間。圖五亦顯示了固體吸收劑的中孔洞體積佔據了大部分的總孔洞體積，而小孔洞體積則非常小。本研究所製備之 DIPA/燻矽吸收劑與 APTS/燻矽吸收劑之比表面積、小孔洞體積(＜2 nm)、中孔洞體積(2-50 nm)以及總孔洞體積(＜300 nm)分別列於表一與表二。由表中可觀察到燻矽試樣



圖五 BJH desorption pore volume distributions of the raw silica fume and DIPA/silica fume sorbents prepared with various DIPA/silica fume weight ratios.

表一 Structural properties of the DIPA/silica fume solid sorbents.

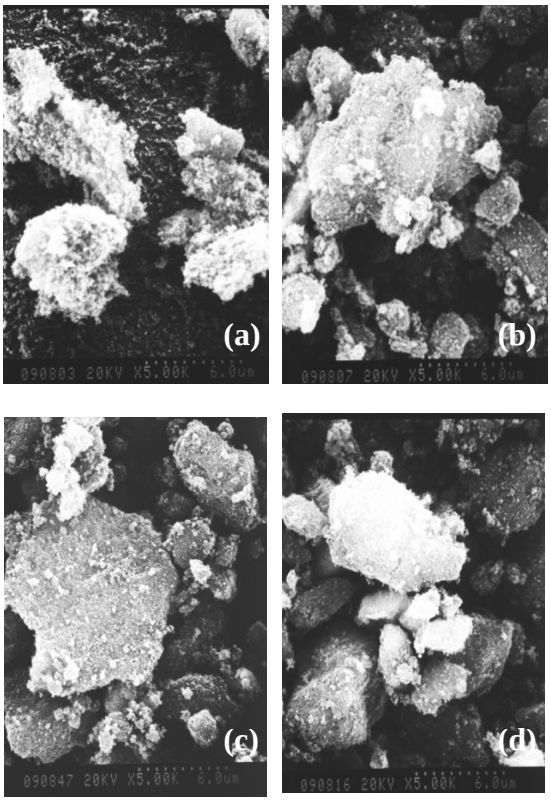
DIPA/silica fume weigh ratio	BET specific surface area (m^2/g)	Pore volume (cm^3/g)		
		Micropore (<2 nm)	Mesopore (2~50 nm)	Total pore (1.7~300nm)
0.0/1	271.5	0.009	1.17	1.22
0.2/1	128.3	0	0.78	0.85
0.5/1	63.7	0	0.45	0.50
1.0/1	47.2	0	0.35	0.38

表二 Structural properties of the APTS/silica fume solid sorbents.

ATPS/silica fume weigh ratio	BET specific surface area (m^2/g)	Pore volume (cm^3/g)		
		Micropore (<2 nm)	Mesopore (2~50 nm)	Total pore (1.7~300nm)
0.0/1	271.5	0.009	1.17	1.22
0.1/1	180.9	0	1.04	1.17
0.5/1	155.3	0	0.80	0.85
1.0/1	47.7	0	0.25	0.28

在 DIPA 或 APTS 負載後，隨著負載量的增加，比表面積與孔隙體積皆對應性地減少，這是由於小孔洞(＜2 nm)與部分中孔洞(~10 nm)的阻塞(參見圖五)，而造成固體吸收劑的比表面積與孔洞體積大幅降低。

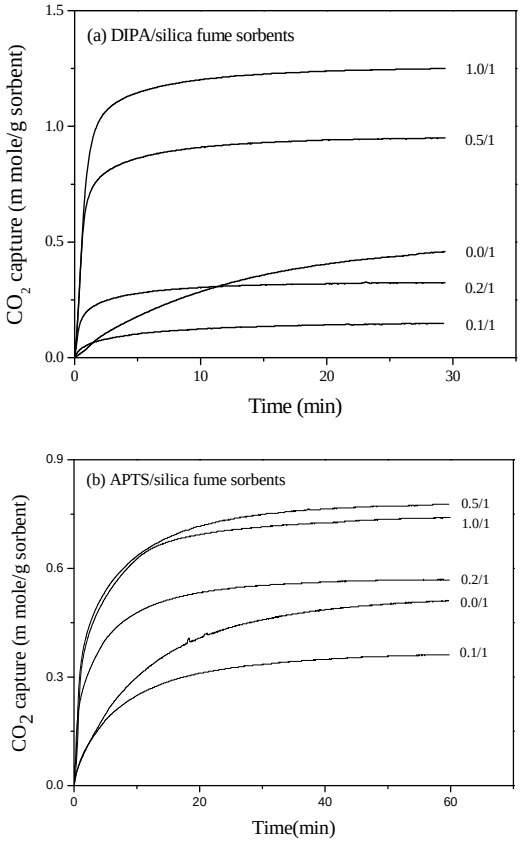
圖六是燻矽試樣與重量配比為 0.5/1 之 DIPA/燻矽吸收劑以及 APTS/燻矽吸收劑的電子顯微鏡照片。由 SEM 照片中可觀察到漿化後的燻矽試樣(圖六(b))相較於燻矽原料試樣(圖六(a))有較緻密且一致的孔洞分佈，而在 DIPA 或 APTS 負載後的燻矽固體吸收劑(圖六(c)與圖六(d))之表面可見一些微小顆粒的沈積，這些沈積使得燻矽試樣原有的小孔洞以及部分的中孔洞被阻塞，也使得比表面積隨著 DIPA 或 APTS 負載重量的增加而隨之降低。這些觀察與由氮氣吸脫附數據所得到的吸收劑結構性質(eg. 比表面積、孔隙型態與分佈等)是相符的。



圖六 SEM micrographs of the prepared silica fume sorbents: (a) raw silica fume, (b) slurried silica fume, (c) DIPA/silica fume(0.5/1)sorbent, and (d) APTS/silica fume (1.0/1)sorbent (×5K).

(二) 吸收劑對CO_2之反應性與捕捉量

圖七為不同重量配比的 DIPA/燻矽吸收劑與 APTS/燻矽吸收劑在 30℃時之二氧化碳捕捉量與觀察圖七可知，本研究所製備的吸收劑在反應時反應時間的關係圖。由圖中可知，不管是 DIPA/燻矽吸收劑(圖七(a))或是 APTS/燻矽吸收劑(圖七(b))，在初始階段吸收 CO_2 的反應皆是非常快速的，但在 20 分鐘後反應的速率則趨於平緩，此後之 CO_2 捕捉量的增加並不明顯，反應時間持續至 1 小時吸收劑的胺基利用率仍未達完全。比較圖七(a)與(b)可知，DIPA/燻矽吸收劑對二氧化碳的反應性高於 APTS/燻矽固體吸收劑，其可於較短反應時間內(~5 分鐘)達到最終的 CO_2 捕捉量。由觀察圖七可知，本研究所製備的吸收劑在反應時間為 30 分鐘時的 CO_2 捕捉量已接近或相等於最終的 CO_2 捕捉量。因此本研究以 30 分鐘時的 CO_2 捕捉量做為所製備固體吸收劑之 CO_2 捕捉量。此外，由圖中亦可見漿化後的燻矽試樣(重量配比 0.0/1)在 30℃時具有的二氧化碳捕捉量為 0.48 mmole/g sorbent，這是由於高比表面積燻矽試樣的 CO_2 物理吸附現象所致，由圖中可見物理吸附曲線相較於有 DIPA 與 APTS 負載的吸收劑試樣的化學吸附曲線，CO_2 捕捉量的提昇顯得較為平緩。此物理吸附量將隨著溫度的上升而下降(70℃時為 0.11 mmole/g sorbent，而 90℃時燻矽試樣的 CO_2 物理吸附量則幾乎為零)。



圖七 Effects of weight ratio on the reactivities of (a) DIPA/silica fume sorbents and (b) APTS/silica fume sorbents for CO_2 capture at 30℃.

表三與表四分別列出本研究所製備之 DIPA/燻矽吸收劑以及 APTS/燻矽吸收劑在不同反應溫度(30℃、50℃、70℃)下對 CO_2 的捕捉量(反應時間為 30 分鐘)。就 DIPA/燻矽吸收劑而言(如表三所示)，CO_2 捕捉量隨著 DIPA 負載量的增加(從重量配比為 0.1/1 到 1.0/1)而增加，但隨著反應溫度的增加其 CO_2 的捕捉量卻是下降的。當 DIPA/燻矽重量配比為 1.0/1 時所製得的固體吸收劑在 30℃時有著最大 CO_2 捕捉量(1.25 mmol/g sorbent)，然而此時的 DIPA 利用率只達到 66.6%，而重量配比為 0.5/1 所製得的吸收劑有最高的 DIPA 利用率(75.9%)，但這個條件情況下的 CO_2 捕捉量為 0.95 mmole/g sorbent。由表三可見，在部分較高反應溫度(50℃、70℃)與較低 DIPA 配比(0.1/1 或 0.2/1) 條件下的 CO_2 捕捉量與胺基利用率並未能由本實驗方法測得，乃是由於在高溫時 DIPA 的高揮發速率所造成的重量損失以及所造成 CO_2 質傳阻力所致；就 APTS/燻矽吸收劑(參見表四)而言，則是在 APTS/燻矽重量配比為 0.5/1 時有最大的 CO_2 捕捉量為 0.78 mmole/g sorbent，當重量配比增至 1.0/1 時 CO_2 捕捉量(0.74 mmole/g sorbent)與胺基的利用率並未能再提升。部分吸收劑試樣在較低反應溫度(30℃或 50℃)與低 APTS 配比(0.1/1 或 0.2/1)條件下的胺基利用率超過 100%，可以漿化後燻矽試樣的物理吸附量的貢獻來解釋。再者，本研究中 DIPA/燻矽吸收劑以及 APTS/燻矽吸收劑之不完全的胺基利用率可以其受 CO_2 物理或化學吸附程序與質傳阻力的影響來解釋。

(三) 吸收劑之再生性

本研究分別以重量配比為 0.5/1 之 DIPA/燻矽吸收劑與 APTS/燻矽吸收劑在不同的 CO_2 吸脫附條件下，以三次的吸附/脫附循環測試來探討所製備固體吸收劑的再生性與 CO_2 吸收程序的可逆性。固體吸收劑重量隨反應測試條件與時間之實驗結果，如圖八所示。依據式一所估算每個循環的二氧化碳捕捉量結果則列於表五中。由圖八或表

表三 The CO_2 capture capacity and amino utilization results of the DIPA/silica fume solid sorbents.

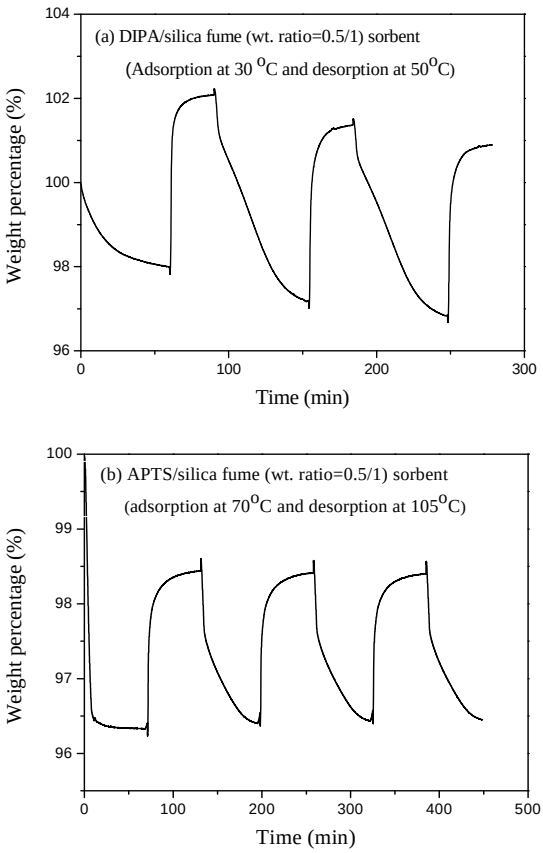
DIPA/silica fume weight ratio	CO_2 capture capacity (m mole/g sorbent)			Utilization of amino (%)		
	30℃	50℃	70℃	30℃	50℃	70℃
0.0/1	0.51	0.25	0.11	--	--	--
0.1/1	0.15	※	※	43.9	※	※
0.2/1	0.32	0.14	※	51.1	21.4	※
0.5/1	0.95	0.77	0.41	75.9	61.5	32.8
1.0/1	1.25	1.10	0.49	66.6	58.6	26.1

※ Due to the inherently higher evaporation rate of DIPA at the tested temperatures (50 and 70℃), the CO_2 capture capacities for some DIPA/silica fume sorbents with lower DIPA content could not be obtained.

表四 The CO_2 capture and amino utilization results of the APTS/silica fume solid sorbents.

APTS/silica fume weight ratio	CO_2 capture capacity (m mole/g sorbent)			Utilization of amino (%)		
	30℃	50℃	70℃	30℃	50℃	70℃
0.0/1	0.51	0.25	0.11	--	--	--
0.1/1	0.36	0.26	0.17	167.8*	121.2*	79.3
0.2/1	0.57	0.32	0.28	139.6*	78.4	68.6
0.5/1	0.78	0.62	0.53	87.5	69.6	59.5
1.0/1	0.74	0.44	0.45	50.3	29.9	30.6

* Those amino utilizations higher than 100% could be explained by the CO_2 physical adsorption on the silica fumes.



圖八 The multiple CO_2 adsorption/desorption tests of (a) the DIPA/silica fume and (b) the APTS/silica fume sorbents prepared with a weight ratio of 0.5/1.

五中的數據可知，反覆多次吸附/脫附測試結果顯示本研究所製備之固體吸收劑是可再生利用的，以三次 CO_2 吸脫附循環測試而言，CO_2 的捕捉量大致上是恆定的(其些微差異可視爲是實驗上的誤差) ，因此，此種固體吸收劑吸收 CO_2 的程序可視爲是完全可逆的。

表五 Multiple cycling tests on the reactivities of the silica fume solid sorbents for CO_2 capture.

Solid sorbents (wt. ratio = 0.5/1)	CO_2 capture capacity (m mole/g sorbent)		
	Cycle 1	Cycle 2	Cycle 3
DIPA/silica fume at 30℃	0.95	0.98	0.95
APTS/silica fume at 70℃	0.50	0.48	0. 46

四、結論

本研究開發用以吸收溫室氣體二氧化碳的胺基修飾燻矽固體吸收劑。研究結論可歸納如下：

1. DIPA/燻矽及 APTS/燻矽吸收劑之氮氣吸附/脫附等溫線都屬 type IV 等溫線，且遲滯現象屬 H3 型，常見於一般的平板型孔隙。
2. 燻矽試樣在 DIPA 或 APTS 負載後，由於小孔

洞(＜2nm)與部分中孔洞(~10 nm)的阻塞而造成吸收劑的比表面積大幅降低。

3. 固體吸收劑在初始階段吸收 CO_2 的反應是非常快速的，但在 20 分鐘後反應的速率則趨於平緩，反應時間持續至 1 小時吸收劑的利用率仍未達完全。
4. 以 DIPA/燻矽重量配比爲 1.0/1 所製得的固體吸收劑在 30℃時有最大 CO_2 捕捉量(1.25 mmol/g 吸收劑)，而此時的 DIPA 利用率只達到 66.6%。
5. 不完全的胺基利用率可以其受 CO_2 質傳或吸附程序的影響來解釋。
6. 反覆多次吸附/脫附測試的結果顯示固體吸收劑是可再生且其吸收 CO_2 的程序是完全可逆的。

本研究的結果將有助於開發以燻矽爲載體之胺系固體吸收劑，並可作爲後續的二氧化碳吸收設備和程序設計之基礎資料。

謝誌

本論文的發表要感謝中國文化大學九十八年度提昇教師研究能量專案的經費補助，以及曾奕耀先生在固體吸收劑先期製備上的諸多協助。

參考文獻

[1] 行政院環境保護署全球網頁 (http://www .epa.gov.tw).

[2] 陳茂松，CO_2的分離回收技術，化工，38，21 (1991)。

[3] Yang, H., Xu, Z., Fan, M., Gupta, R., Slimane, R. B., Bland, A. E., and Wright, I., J. Environ. Sci., 20, 14 (2008).

[4] Gray, M. L., Soong, Y., Champagne, K. J., Baltrus, J., Stevens, R. W., Toochinda, P., and Chuang, S. S. C., Sep. Purif. Technol., 35, 31 (2004).

[5] Maroto-Valer, M. M., Lu, Z., Zhang, Y., and Tang, Z., Waste Manage., 28, 2320 (2008).

[6] Plaza, M. G., Pevida, C., Arenillas, A., Rubiera, F., and Pis, J. J., Fuel, 86, 2204 (2007).

[7] Pevida, C., Plaza, M. G., Arias, B., Fermoso, J., Rubiera, F., and Pis, J. J., Appl. Surf. Sci., 254, 7165 (2008).

[8] 陳文發，改質奈米碳管及中孔洞矽材吸附二氧化碳之研究，國立中興大學環境工程研究所碩士論文 (2008)。

[9] Knowles, G. P., Delaney, S. W., and Caffee, A. L., Stud. Surf. Sci. Catal., 156, 887 (2005)

[10] Gray, M. L., Soong, Y., Champagne, K. J., Pennline, H., Baltrus, J., Stevens, R. W., Khatri, R. A., Chuang, S. S. C., and Filburn, T., Fuel Process. Technol., 86, 1449 (2005).

[11] Khatri, R. A., Chuang, S. S. C., Soong, Y., and Gray, M. L., Energy Fuels, 20, 1514 (2006).

[12] Son, W. J., Choi, J. S., and Ahn, W. S., Microporous Mesoporous Mater., 113, 31 (2008).

[13] Yue, M. B., Sun, L. B., Cao, Y. Wang, Z. J., Wang, Y., Yu, Q., and Zhu, J. H., Microporous Mesoporous Mater., 114, 74 (2008).

[14] Plaza, M. G., Pevida, C., Arias, B., Fermoso, J., Arenillas, A., Rubiera, F., and Pis, J. J., J. Therm. Anal. Cal., 92, 601 (2008).

[15] Arenillas, A., Smith, K. M., Drage, T. C., and Snape, C. E., Fuel, 84, 2204 (2005).

[16] Sakamoto, Y., Nagata, K., Yogo, K., and Yamada, K., Microporous Mesoporous Mater., 101, 303 (2007).

[17] Grutzeck, M. M., Atkmson, S., and Roy, D. M., “Fly Ash, Silica Fume, Slag & Other Minerals. By-Products in Concrete“, American Concrete Institute, Michigan, USA (1983).

[18] Lin, R. B., Shih, S. M., and Liu, C. F., Chem. Eng. Sci., 58, 3659 (2003).

[19] Zhao, G., Aziz, B., and Hedin, N., Appl. Energy, 87, 2907 (2010).

[20] 李岳陽，碳酸鉀負載於活性碳與矽酸鈣吸收二氧化碳之研究，國立台灣大學化學工程研究所碩士論文 (2002)。

[21] Szekely, J., Evans, J. W., and Sohn, H. Y., “Gas-Solid Reactions”, Acad. Press, New York, USA (1976)

華岡工程學報第 28 期 民國一百年六月 中國文化大學工學院
Hwa Kang Journal of Engineering, Chinese Culture University 28 (2011) 125-129

摻雜錫之氧化銦奈米線的合成與性質探討

林良達 [1]、張立偉 [2]、施漢章 [1]*
[1] 中國文化大學奈米材料研究所
[2] 國立清華大學材料科學工程學系

*e-mail: hcshih@mx.nthu.edu.tw

摘要

本實驗利用熱蒸鍍法成功合成出摻雜錫之氧化銦奈米線。透過場發射掃描式電子顯微鏡(FESEM)觀察其表面形貌，再使用穿透式電子顯微鏡(TEM)以及 X 光繞射分析儀(XRD)分析其晶體結構和成長方向，可以發現微量摻雜錫元素並不影響主體氧化銦的結構。而使用能量散佈光譜儀(EDS)和 X 光光電子能譜儀(XPS)作成分的鑑定，證明氧化銦奈米線內部確實有錫摻雜。最後以電流-電壓(I-V)曲線的量測分析，發現摻雜錫之氧化銦奈米線的電阻值為 30.97 千歐姆。

關鍵字：熱蒸鍍法、氧化銦摻雜錫、奈米線

Synthesis and properties of the tin-doped indium oxide nanowires

Liang-Da Lin[1] , Li-Wei Chang [2] , Han C. Shih[1]*
[1]Institute of Nanomaterials, Chinese Culture University
[2]Department of Materials science and Engineering, National Tsing-Hua University

Abstract

In this study, tin-doped indium oxide nanowires have been successfully synthesized by thermal evaporation . Using field emission scanning electron microscope (FESEM) to observe the surface morphology, and using transmission electron microscopy (TEM) and x-ray diffraction (XRD) to analyze the crystal structure and growth direction ,we found that the main structure of indium oxide hardly changed when slight tin was doped in. The use of energy dispersive spectroscopy (EDS) and x-ray photoelectron spectroscopy (XPS) for the materials identification, can prove that the indium oxide nanowires are within the tin doping limit. Finally, the result of the current-voltage(I-V) measurement and analysis, yielding a resistance value of the tin-doped indium oxide is 30.97 kΩ.

Keywords: thermal evaporation , tin-doped indium oxide , nanowires

一. 前言

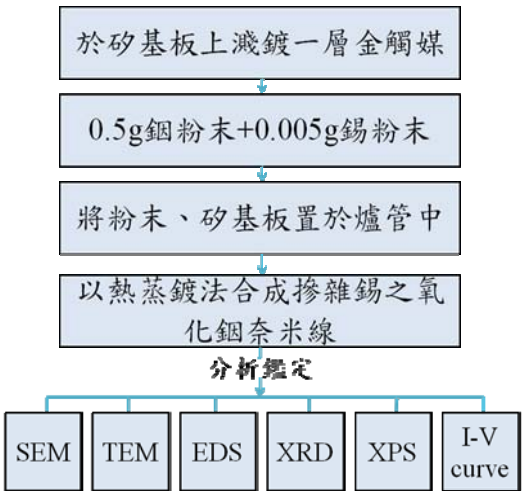
近來，一維的奈米材料因其特殊的性質與應用而被廣泛的研究、討論。所以本實驗選擇寬能帶(wide band gap, Eg=3.6eV)的 n 型半導體材料氧化銦(In_2O_3)爲奈米材料的研究方向。氧化銦的應用層面相當廣泛，像是太陽能電池、平面顯示器、有機發光二極體、超靈敏有毒氣體偵測器、建築玻璃與液晶裝置上，爲現今熱門的材料之一。

氧化銦摻雜錫(Tin)後，即爲 ITO(Indium tin oxide)，ITO 是相當知名的透明導電材料。屬於透明導電薄膜 (transparent conductive oxide thin film, TCO)的其中一種，所謂的透明導電材料都有兩種主要的特性，一是對可見光具有高的透光率，二是比一般半導體有更高的導電性，所以透明導電薄膜主要應用在觸控和感測器上。實際的運用有液晶顯示器、觸控面板、電磁波防護與太陽能電池等。

而本實驗以 TCO 中的 ITO 作爲一維奈米線的研究方向並透過合成摻雜錫後的氧化銦奈米線作爲結構與電性上的研究探討。

二.實驗

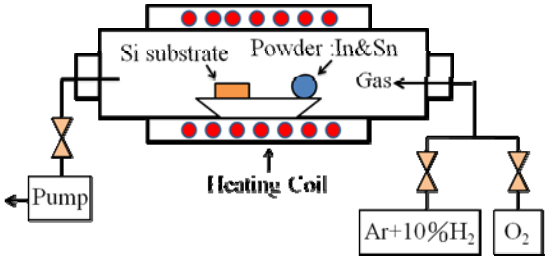
本實驗以熱蒸鍍法也是化學氣相沉積法(CVD)來合成摻雜錫之氧化銦奈米線，其實驗流程如圖一所式：



圖一、實驗流程圖。

實驗首先將矽基板浸泡在丙酮溶液中，再使用超音波震盪器震盪 30 分鐘，待試片去除表面雜質後，再以烘箱烘乾，最後以濺鍍的方式在矽基板上鍍上一層金當作觸媒。

接著將 0.5 克的銦粉末(純度 99.99%) 與 0.005 克的錫粉末(純度 99.99%)均勻混和後放置於氧化鋁船型坩鍋的一端以作爲蒸發源，並將鍍金爲觸媒的矽基板置於氧化鋁船型坩鍋的另一端，最後一同放入水平式高溫爐管中，其截面構造如圖二所示：



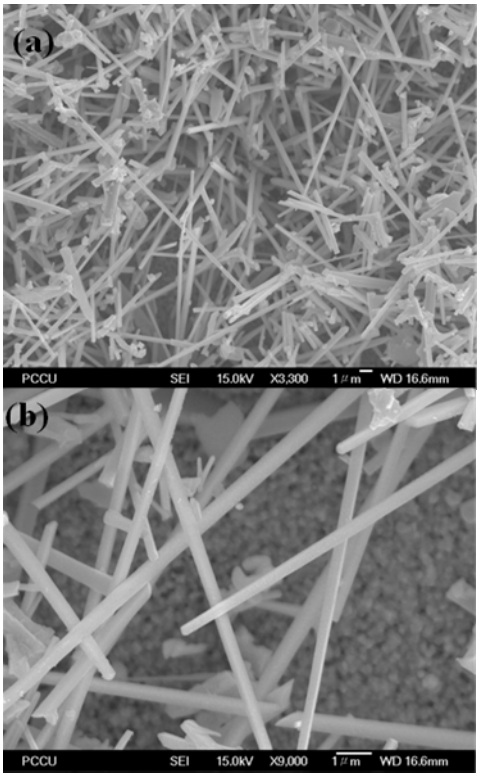
圖二、合成摻雜錫之氧化銦奈米線的實驗設備示意圖。

製程的工作壓力爲 900mTorr，並且全程通入 80sccm 氬氣混合 10%的氫氣(Ar+10%H_2)以及 2sccm 的氧氣，進行三階段溫度調控。在升溫階段以每分鐘 10℃的升溫速率加熱至 900℃，並且在 900℃持溫一個小時。持溫一小時後，自然降溫至室溫，取出式片可以看到在矽基板上有一層白色的沉積物。

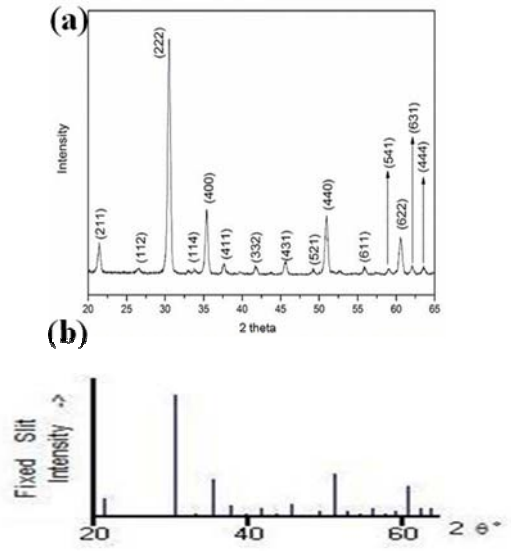
對此製作完成之奈米線產物，以場發射掃描式電子顯微鏡(FESEM)、穿透式電子顯微鏡(TEM)及 X 光繞射分析儀(XRD)分析其結構；而使用能量散佈光譜儀(EDS)和 X 光光電子能譜儀(XPS)作成分的鑑定；最後以電流-電壓(I-V)曲線的量測作電性分析。

三.結果與討論

圖三爲氧化銦摻雜錫奈米線掃描式電子顯微鏡(FESEM) 的圖示，從圖中我們可以得知奈米線的長度大約是 5-20μm 以及奈米線的直徑大約是 250nm。



圖三、(a)摻雜錫之氧化銦奈米線 FESEM 低倍率圖。(b)摻雜錫之氧化銦奈米線 FESEM 高倍率圖。

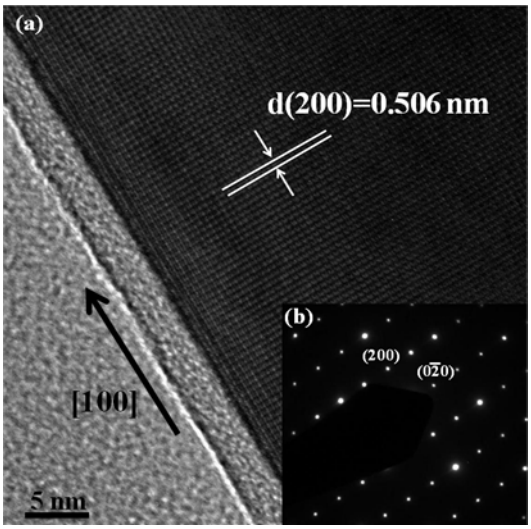


圖四、(a)摻雜錫之氧化銦奈米線 XRD 圖。 (b)摻雜錫之氧化銦結構 JCPDS 圖。

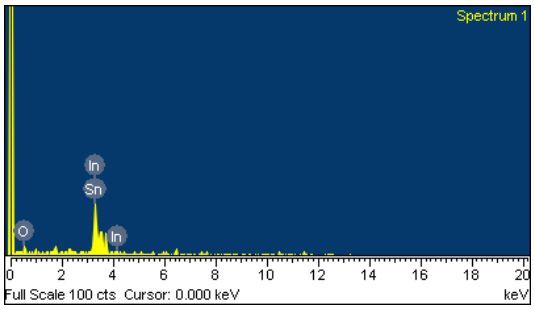
圖四(a)爲氧化銦摻雜錫奈米線的 X 光繞射能譜圖(XRD)，對照圖四(b)的 JCPDS 06-0416 資料，我們可以發現摻雜錫的氧化銦奈米線主要的 X 光繞射峰值爲 2θ = 30.54；35.41；50.95 ；三個主要繞射面分別爲(222)、(400)、(440)，晶格常數:a=b=c=10.11Å ，經過與資料庫的數據比對後，可以得知其爲體心立方(bcc)的結構。

我們再利用高分辨的 TEM 影像(圖五)加以分析，由圖中可以得知摻雜錫的氧化銦奈米線沿著[100]的方向作成長，而面的間距爲 0.506 nm。並搭配選區繞射(SAD)的結果，可以得知其爲 bcc 的單晶結構。這與 X 光繞射(XRD)鑑定的結果相互符合。

圖六爲本實驗以裝設在 FE-SEM 的能量散佈光譜儀(EDS)系統加以分析氧化銦摻雜錫奈米線的成分與比例。從圖中可以明顯看到氧、銦及錫的訊號，證實了奈米線中含有這三種元素。而由 EDS 的半定量結果，可以看到銦占了 35.14%，氧占了 59.62%，錫占了 5.24%的原子百分比。



圖五、(a)摻雜錫之氧化銦奈米線 TEM 高分辨影像(b) 摻雜錫之氧化銦奈米線 SAD 圖。



圖六、摻雜錫之氧化銦奈米線 FESEM-EDS 圖。

而我們進一步由 X 光光電子能譜儀(XPS)來進行成分的分析與鑑定。圖七為銦元素附近區段的能譜圖，由圖中可以看見在 445.1 eV 和 452.6 eV 分別有強度很強的峰值，這兩個峰值分別是銦元素的 $In3d_{5/2}$ 軌域及 $In3d_{3/2}$ 軌域的訊號。圖八為氧在 530.8 eV 下的 O1s 軌域訊號。而圖九為錫元素附近區段的能譜圖，同樣可以看到在 486.9 eV 及 495.5 eV 有很強的峰值，這兩個峰值分別是錫元素的 $Sn3d_{5/2}$ 軌域及 $Sn3d_{3/2}$ 軌域的訊號。

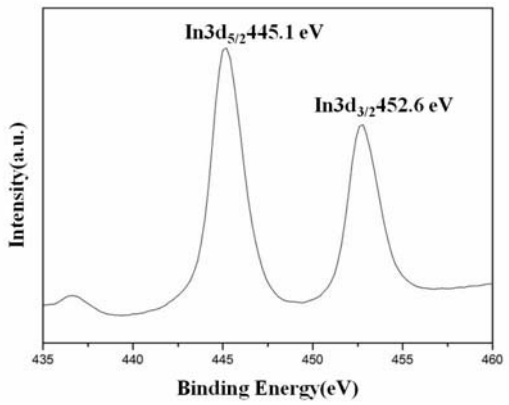
由 X 光光電子能譜儀(XPS)的結果配合式(1)可以推算得知奈米線中所含的原子百分比：

$$\rho_n/\rho_m = (I_n/I_m)(K_m/K_n) \qquad (1)$$

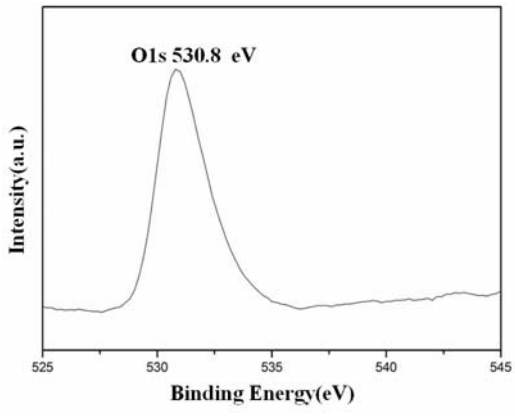
其中 ρ 為該元素的原子密度(atoms/cm^3)；I 是動能為 E 的光電子亮度；K_n 及 K_m 稱為相對靈敏度(relative sensitivity factors)，一般 K_n 及 K_m 的值可由參考手冊中查得。分析者只要得到 n 與 m 二元素個別的 ESCA(electron spectroscopy for chemical analysis)訊號強度，代入上式中，便可以得到二元素的表面原子濃度比。

而我們得到的數值為銦占了 35.64%，氧占了 56.19%，錫占了 8.17%。這結果驗證了能量散佈光譜儀(EDS)的分析。

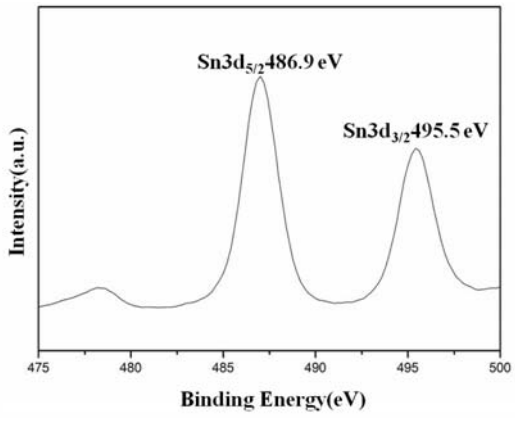
圖十、為摻雜錫之氧化銦奈米線的電流-電壓(I-V curve)曲線特性圖，由圖中我們可以看出電流--電壓曲線呈現屬於歐姆接觸(ohm contact)的斜直線。根據歐姆定律(Ohm'Law)，V=IR，由斜率的倒數計算求得其電阻值 R=30.97(kΩ)。



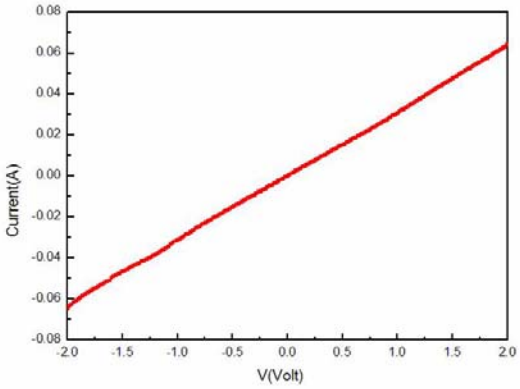
圖七、銦的 3d 軌域 XPS 能譜圖。



圖八、氧的 1s 軌域 XPS 能譜圖。



圖九、錫的 3d 軌域 XPS 能譜圖。



圖十、摻雜錫之氧化銦奈米線 I-V 曲線圖。

四.結論

本研究藉由熱蒸鍍法成功合成出摻雜錫之氧化銦奈米線，並成長於矽基板上。

透過穿透式電子顯微鏡(TEM)與 X 光繞射分析儀(XRD)的分析得知，摻雜錫之氧化銦奈米線為

體心立方(bcc)的單晶結構，證實了微量摻雜錫元素並不影響氧化銦的主體結構。

而由能量散佈光譜儀(EDS)與 X 光光電子能譜儀(XPS)的分析結果，證實本研究的實驗方法確實能使錫摻雜至氧化銦奈米線內。

五.參考文獻

[1] Chao Li, Daihua Zhang, Song Han, Xiaolei Liu, Tao Tang and Chongwu Zhou,"Diameter-Controlled Growth of Single-Crystalline In_2O_3 Nanowires and Their Electronic Properties" , Adv. Mater. , Vol.15, Issue 2, 143-146(2003)

[2] G. Cheng,E. Stern,S. Guthrie,M.A. Reed,R. Klie,Y. Hao,G. Meng,L. zhang,"Indium oxide nano- structures", Appl. Phys. A 85, 233–240(2006)

[3] Changhao Liang, Guowen Meng, Yong Lei, Fritz Phillipp , and Lide Zhang , "Catalytic Growth of Semiconducting In_2O_3 Nanofibers" ,Adv. Mater. , Vol. 13, Issue 17, 1330-1333(2001)

[4] D. H. Kuo,C. W. Hsu, and C. H. Liang ,"CVD Growth of In2O3 Nanowires Using a Mixed Source of Indium and Indium Chloride", J. Electrochem. Soc., Vol. 155, Issue 9, 156-160 (2008)

[5] 陳彥里，"氧化銦奈米結構之光電特性研究"，中國文化大學數位機電科技研究所碩士論文，2010

[6] Yingkai Liu, Weiguo Yang and Dedong Hou "Control synthesis of octahedral In_2O_3 crystals, belts, and nanowires", Superlattices and Microstructures Vol. 43, Issue 2, 93-100(2008)

[7] Gunho Jo, Woong-Ki Hong, Jongsun Maeng, Tae-Wook Kim, Gunuk Wang, Ahnsook Yoon, Soon-Shin Kwon, Sunghoon Song and Takhee Lee, " Structural and electrical characterization of intrinsic n-type In_2O_3 nanowires", Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects, Vol. 313-314, 308-311(2008)

[8] K.P. Kalyanikutty, Gautam Gundiah, Christopher Edem, A. Govindaraj, C.N.R. Rao,"Doped and undoped ITO nanowires," Chemical Physics Letters 408 , 389–394(2005)

[9] Hyoun Woo Kim , Hyo Sung Kim , Han Gil Na , Ju Chan Yang , Rino Choi , Jae Kyeong Jeong , Chongmu Lee , Doo Young Kim , "One-step fabrication and characterization of silica-sheathed ITO nanowires", Journal of Solid State Chemistry , Vol. 183, Issue 10, 2490-2495 (2010)

[10] Seu Yi Li, Chia Ying Lee, Pang Lin and Tseung Yuen Tseng , "Low temperature synthesized Sn doped indium oxide nanowires" , Nanotechnology,Vol. 16, 4 , 451-457(2005)

[11] 汪建民，"材料分析"中國材料科學學會，1998 年初版

華岡工程學報第 28 期 民國一百年六月 中國文化大學工學院
Hwa Kang Journal of Engineering, Chinese Culture University 28 (2011) 130-138

聚丙烯針織物以電漿及丙烯醯胺改質藉由改變單體/交鏈劑比例對反應性染料低溫染色及物性之研究

王權泉*、蔡志宸、張俊彥、周威志、吳馨蘋

中國文化大學紡織工程學系

*Email: ccwang@staff.pccu.edu.tw

摘要

本研究旨在提升聚丙烯針織物之染色性。以不同電漿條件、交鏈劑濃度、丙烯醯胺(Acrylamide，簡稱 AAm)單體濃度、UV 光照射時間處理聚丙烯織物。以電漿使聚丙烯針織布表面產生物理性的刻蝕和化學性的極性基來提升其親水性和藥劑吸附性，並利用電漿後產生的過氧化物誘導丙烯醯胺單體進行 UV 光接枝共聚合，而增加染著之席位以改善其染色性，提升聚丙烯針織布產品應用範圍及附加價值。由實驗結果得知，電漿功率及時間的提高對接枝率有增加效果，且丙烯醯胺單體濃度增加，UV 光照時間增長及適度添加交鏈劑有助於單體的接枝率及 K/S 值的提升，其親水性經氬氣電漿及 UV 光接枝改質後有明顯改善，但纖維強力會隨電漿時間、瓦數的增加而下降。藉由掃描式電子顯微鏡觀察到纖維表面呈現蝕刻的現象，但 UV 光接枝改質後，可減少纖維強力之損失，另外經丙烯醯胺接枝改質的聚丙烯織物，確實可利用反應性染料進行低溫染色之上色效果

關鍵詞: 聚丙烯、UV 光接枝聚合、電漿處理、丙烯醯胺、交鏈劑

Study on Low Temperature Reactive Dyeing and Characterization of Polypropylene Fabrics Treated by Plasma and Grafted with Acrylamide

C. C. Wang*, C. C. Tsai, C. Y. Chang, W. Z. Chou, S. P. Wu

Department of Textile Engineering, Chinese Culture University

Abstract

This study is to enhance the reactive dyeing properties of polypropylene fabrics. The effect of different plasma conditions, cross-linking agent and AAm monomer concentration and UV light exposure time on hydrophilicity and dyeability of polypropylene fabrics were researched. The dye sites of polypropylene fibers (abbre.P.P.) grafted with acrylanide by UV-induced polymerization were increased. In addition, both add-value and application of fabrics were enhanced too. From results shown that the graft ratio of polypropylene fabrics increased with increase of plasma power and treating. In addition, the K/S value was enhanced by inereasing

AAm monomer concentration and UV irradiation time and adding of cross linking agent. The hydrophilicity of P.P. was improved by plasma treatment and AAm modification. The mechanical strength of P.P. fiber decreased with increasing plasma treating power and time, and increased by graft modification. On the other hand, the low temperature reactive dyeing effect of P.P. fabrics grafted with AAm substantially were obtained by the method.

Key words：Polypropylene, UV polymerization, Plasma, Acrylamide, Cross-linking agent

(1).前 言

聚丙烯(Polypropylene，簡稱 PP)纖維具有良好的絕熱性，是比棉更佳的保暖材質，且比重較水輕、耐化學藥品性佳、及防污性良好等優點，然而價格的優勢更是一項考量的重要因素；但是 PP 纖維並未被服裝界廣泛採用，主要是 PP 纖維的非極性結構通常被認爲是無法染色的最大隱憂，因爲 PP 纖維單純的碳氫結構，缺乏極性官能基且結晶度高，親水性極低，因此與染料及化學助劑之間的親和力不佳，以致用一般傳統染色和印花方式均無法達到理想著色的效果，目前 PP 纖維大部分的上色方法都是採原液染色 [1-5]。

但原液染色是將染料夾持於纖維中，並非與染料以化學鍵結固定於纖維上，所以本實驗以電漿改質 PP 針織物。

電漿的加工處理可使纖維表面產生蝕刻及化學斷鍵；於是本實驗採用電漿進行表面的改質，使纖維表面產生蝕刻和極性基，以提升其親水性與藥劑吸附性。電漿後利用產生的過氧化物與丙烯醯胺(AAm)單體，在 UV 光照射下進行接枝共聚合，同時加入高反應性染料及交鏈劑，一來縮短一般染程的時間，二來提高接枝於 PP 纖維上聚合體的接枝率與固色性。希望藉此接枝方式來改善聚丙烯纖維的親水性及上色性，以提高聚丙烯纖維的利用價值[4,5] 。

(2).理 論

2-1 電漿處理理論

電漿稱爲物質的第四態。電子在電場的加速後，與氣體分子或原子產生非彈性碰撞使其產生離子化反應、解離反應或者是被激發至激發態。此團由電子、離子、激發態粒子、自由基及中性氣體分子所組成的部份離子化氣體，即爲電漿。利用帶有能量的離子化氣體，與材料表面相互作用使表面產生刻蝕或化學斷鍵使其產生活性基[6-8] 。

2-2 電漿誘導活化理論

電漿後 PP 針織布表面的自由基與空氣中的氧會形成過氧化物，再經由熱處理或氧化還原劑的作用，使得過氧化物的氧原子與氧原子鍵結(O-O)斷裂形成活性自由基，以進行單體接枝如圖一所示[7,8]。

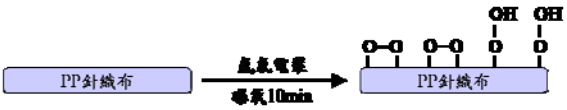


圖 1 PP 針織布氬氣電漿示意圖

2-3 UV 光接枝共聚合理論

此反應是將電漿處理後，PP 針織布表面產生的過氧化基施予適當的能量，運用 UV 光照射的能量活化基材表面的過氧化物，同時可起始表面接枝反應，與單體 AAm 形成共價鍵的聚合成長反應如圖二所示[7-10]。

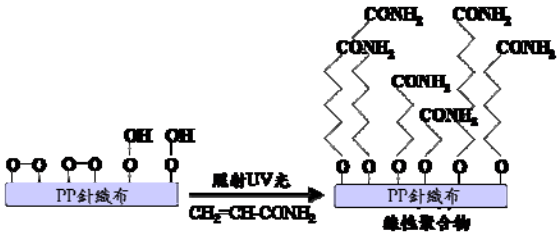


圖 2 PP 針織布 UV 光共聚合 AAm 示意圖

2-4 交鏈劑交鏈理論

如圖三所示利用交鏈劑分子中兩端的雙鍵(C=C)或反應應，可使本是線性分子鏈的 PAAm 彼此交鏈而形成立體網狀結構，使得織物上 PAAm 更不易脫落，進而提升染色堅牢度[11]。

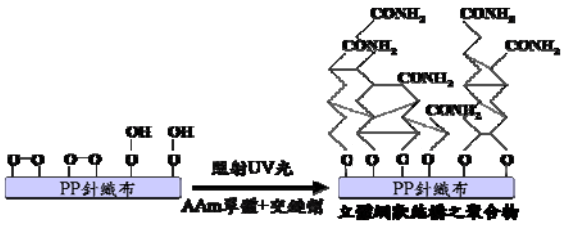


圖 3 UV 光接枝共聚合 AAm 和交鏈劑示意圖

2-5 反應性染料染色理論

反應性染料與聚丙烯醯胺(PAAm)的胺基(-NH2)起化學結合，產生共價鍵而染著，其反應如下：

F-NH2 + D-T-X → F-NH-T-D + HX

D：染料母體

T：染料母體與反應基之間的支持基

X：反應基

本實驗中使用高反應性染料，反應性高且於低溫下即可染色。

(3).實 驗

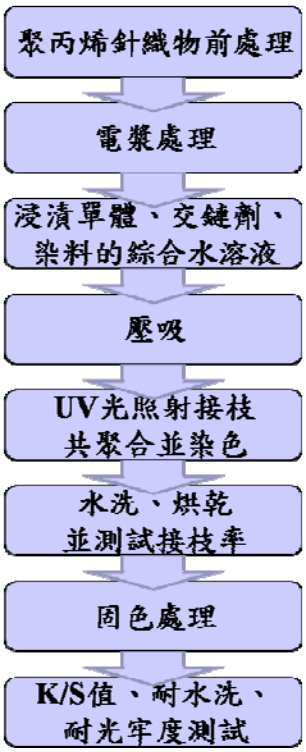
3-1 實驗材料

(1) 布種規格：聚丙烯針織布，由 150/48 的原纖織成，經向 45 針/ in、緯向 37 圈/ in，三洋化纖。
(2) 丙烯醯胺：(C_3H_5NO，Acrylamide，簡稱 AAm)純度：99%以上， ACROS。
(3) 交鏈劑：
水性 PU 交鏈劑，商品型號爲 BI7987，40%的固成份，NCO 含量 4.5%，其中含以 3,5-二甲基吡嗪(3,5-Dimethyl Pyrazole 簡稱 DMP）來封閉的 1,6-己二異氰酸酯(Hexamethylene Diisocyanate 簡稱 HDI，$OCN(CH_2)_6NCO$)，三化實業有限公司。
N,N'-甲叉基雙丙烯醯胺(N,N'-methylene bisacrylamide，CH_2=CH-CONH)$_2CH_2$，簡稱 NMBA)純度：99%以上，J.T.Baker 。
(5) 皂絲：南僑化學工業股份有限公司。
(6) 氮氣：純度：99%，啓昌氣體有限公司。
(7) 氬氣：純度：99%，啓昌氣體有限公司。
(8) 高反應性性染料：中孚染料公司。
Efactive Red 5BS，CI.NO：R/02。
Efactive Yellow GRS，CI.NO：Y/01。
Efactive Blue RSN，CI.NO：B/04。

3-2 實驗儀器

(1) 電漿表面處理儀：Nanoserialnumber：76595，優境企業有限公司代理，最大電漿功率 300W。
(2) UV 光照射儀：功率 500W(波長 365nm)，上泰儀器股份有限公司。
(3) 電子天秤：GR-200，AND，最小單位 0.0001g，可測量範圍 0.0001～210g 。
(4) 熱風循環式烘箱：ST-60B 型，CHERNG HUEI。
(5) 恆溫震盪槽：Rapid。
(6) 超音波水洗機：ELMALC60/H。
(7) 分光分析儀：X-rite 8200，弘大科技股份有限公司。
(8) 氙弧燈耐光色牢度測定儀：FM-2X-A，利寶展企業有限公司。
(9) 高溫高壓染色機：H-120， Rapid。

3-3 實驗步驟



3-4 實驗條件

(1) 前處理
將聚丙烯針織物以丙酮進行精練，去除織物表面雜質。

(2) 電漿處理
將織物置入電漿儀腔體中，抽真空至壓力爲 0.20mbar，通入氬氣(Ar)提升壓力至 0.32mbar 並持壓 5min 後，依不同條件開始電漿，電漿後至於大氣中曝氧 10min。
瓦數(W)： 150
時間(min)：5

(3) 浸漬單體、交鏈劑和染料溶液
以去離子水爲溶劑，依條件加入丙烯醯胺單體、交鏈劑和高反應性染料 o.w.s 0.5%，以磁石攪拌 10min，使其完全溶解。再置入電漿處理後的 PP 針織布進行超音波震盪。
AAm 濃度(wt%)：5、10、15、20
NMBA(wt%)：0、0.5、1、1.5、2
水性 PU 交鏈劑中的固成分(wt%)：0、0.5、1、1.5、2
超音波震盪：5min(使溶液更快滲透織物中)

(4) 壓吸
超音波震盪完，取出織物以 1kg/cm^2 進行壓吸。

(5) UV 光照處理
取出超音波震盪後的 PP 織物，置入 UV 光儀一條件照射不同時間，且光源與織物距離 27cm。
時間(min)：10、15、20、25

(6) 水洗、烘乾並測試接枝率
將照射完 UV 光的 PP 織物，以超音波震盪儀震盪水洗 30min，保持水循環系統(流量：1L/min)持續的除去均聚合物、未聚合之單體和未反應之染料，洗後以 60℃的烘箱進行 1hr 的預乾，測試不同條件下的接枝率。

$$接枝率=\frac{接枝後布重(g)-原布重(g)}{原布重(g)}\times 100\%$$

(7) 固色處理
將織物浸漬水性 PU 交鏈劑，以 1kg/cm^2 進行壓吸，再以 100℃的烘箱烘 10min。

3-5 測試標準

(1) 耐水洗染色堅牢度 依據 CNS1494A-1 級
試片大小 10 cm×4 cm，皂絲 5g/L、液量 100mL、溫度 40±2℃、30min。取出試片，水洗，脫水、乾燥。

(2) 耐氙弧燈光色堅牢度 依據 CNS3846
將色布試片(1 cm×6 cm)及標準藍色布標置於儀器中，試片經照光後，測其試片及藍色標之變褪色。

(3)K/S 值(表觀濃度)測

$$k/s=\frac{(1-R)^2}{2R}$$

K=吸收係數
S=散射係數
R=最大光吸收波長之反射率。

(4)接觸角條件:
試驗溫度：25°C
試驗藥劑：甘油(Glycerin)、磷酸三甲醯(TCP)

(5)強力測試標準: ASTM D2256-2002

拉伸速度：50 ± 1 cm/min

夾距：10 cm

(4).結果與討論

4-1 改變單體濃度及交鏈劑種類對接枝率的影響

電漿氣體爲氬氣，電漿功率 150W、處理時間 5min、壓力 0.32mbar、UV 光照 20min 爲處理條件，對 PP 針織布進行處理以探討不同交鏈劑條件對 AAm 濃度接枝率之影響。由圖 4 可知，隨 AAm 濃度的增加對 PP 針織布之 PAAm 接枝率隨之增加；而 AAm 濃度 20wt%之接枝率爲最高，尤其交鏈劑爲 NMBA 時效果最爲明顯，其次爲水性 PU 交鏈劑，而未添加爲最低。其添加交鏈劑的確可使接枝率提升，且 NMBA 的成效比水性 PU 交鏈劑佳，於 AAm 聚合的過程中，因 NMBA 的兩個雙鍵不僅只產生交鏈，也延長鏈的長度，但水性 PU 交鏈劑只在 PAAm 的胺基上產生交鏈，故 PP 針織布之 PAAm 接枝率以添加 NMBA 較水性 PU 交鏈劑佳。

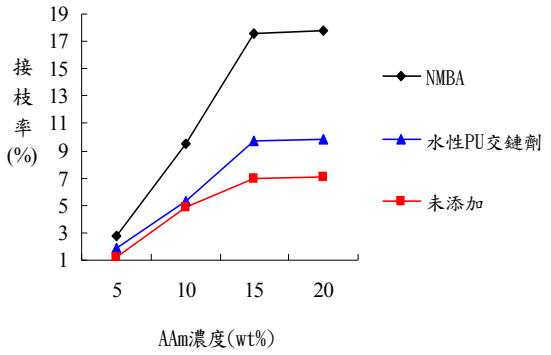


圖 4 不同 AAm 濃度及交鏈劑種類對接枝率之影響 (150W 電漿 5min、交鏈劑 1.5wt%、UV 光照 20min)

4-2 改變交鏈劑濃度及種類對接枝率的影響

電漿氣體爲氬氣，電漿功率 150W、處理時間 5min、壓力 0.32mbar、UV 光照 20min、AAm 濃度 20wt%爲處理條件，對 PP 針織布進行處理以探討不同交鏈劑種類及條件對接枝率之影響。由圖 5 可知，隨交鏈劑濃度量提高，PAAm 接枝率也隨之增加，其中 NMBA 的接枝率較水性 PU 交鏈劑爲佳。而水性 PU 交鏈劑爲 2wt%時接枝率的最大值。但 NMBA 濃度添加至 2wt%時其接枝率卻較濃度 1.5wt% 時低，因添加過量 NMBA 會使 PAAm 的網狀結構反而易脆裂剝落，而造成接枝率下降。

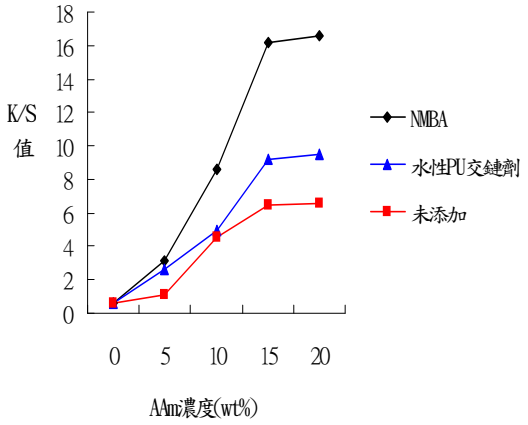


圖 5 不同交鏈劑濃度與交鏈劑種類對接枝率之關係(150W 電漿 5min、AAm20wt%、UV 光照 20min)

4-3 改變單體濃度和交鏈劑種類對織物 K/S 值的影響

氬氣電漿氣體爲，電漿功率 150W、處理時間 5min、壓力 0.32mbar、UV 光照 20min、交鏈劑 1.5wt%和 Efactive Red 5BS o.w.s 0.5%爲處理條件，對 PP 針織布進行處理以探討不同交鏈劑及 AAm 濃度對 K/S 值之影響。由圖 7 可知，PP 針織布之 K/S 值會隨 AAm 濃度增加，也隨之提高；AAm 濃度 20wt%之 K/S 值爲各種交鏈劑種類最高，其中以 NMBA 的效果最爲明顯，其次爲水性 PU 交鏈劑，而未添加次之。但隨著 AAm 濃度的增加而 K/S 值提昇；AAm 濃度到 15wt%時，各交鏈劑種類之 K/S 值已有趨緩的狀態，此圖 6 與圖 5，隨 AAm 濃度增加 K/S 值與 PAAm 接枝率有相似之趨勢，在 PAAm 接枝率提升同時 PP 針織布上的氨基量染著席位也增加，使其 PP 針織布染料吸附量提高即 K/S 值提高。

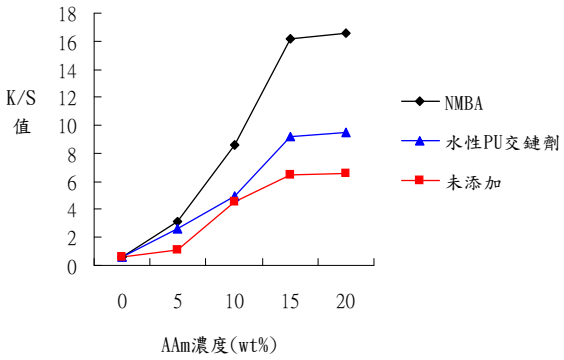


圖 6 PP 針織布於 150W 電漿 5min、交鏈劑 1.5wt%、UV 光照 20min 對不同 AAm 濃度及交鏈劑種類處理之 K/S 值

4-4 改變交鏈劑濃度和交鏈劑種類對織物 K/S 值的影響

電漿氣體為氬氣，電漿功率 150W、處理時間 5min、壓力 0.32mbar、UV 光照 20min、AAm 濃度 20wt%、Efactive Red 5BS o.w.s 0.5%為處理條件，對 PP 針織布進行處理以探討不同交鏈劑種類及濃度對 K/S 值之影響。由圖 6 可知，隨交鏈劑濃度增加，PP 針織布之 K/S 值也隨之提高。NMBA 濃度 1.5wt%時 K/S 值達最大值，其水性 PU 交鏈劑濃度於 2wt%之 K/S 值為最高。但 NMBA 濃度為 2wt%之 K/S 值卻較 1.5wt%時低，因添加過量 NMBA 會使 PAAm 的網狀結構反而易脆裂，而造成接枝率下降，使染著席位量減少則染料吸收量減少，故 K/S 值不增反減。而水性 PU 交鏈劑濃度由 1.5wt%增加至 2wt%時其 K/S 質並無太大的提升，由於水性 PU 交鏈劑自身會作結合，反使交鏈於 PAAm 的量下降，減少 PAAm 接枝的固定，故 K/S 值無明顯提升。

4-5 改變 UV 光照射時間、交鏈劑種類及濃度對接枝率、K/S 值之影響

以氬氣、150W、5min、壓力 0.32mbar 電漿、Efactive Red 5BS o.w.s 0.5%為處理條件，對 PP 針織布進行處理以探討不同交鏈劑種類和濃度及 UV 光照射時間對接枝率及 K/S 值之影響。由表 1 得知，於未添加交鏈劑時，其接枝率與 K/S 值會隨著 UV 光照射時間的增長進而提升，且照射時間為 20min 時達到最佳的效果。而添加水性 PU 交鏈劑會隨著交鏈劑濃度和 UV 光照射時間的增長而提升其接枝率和 K/S 值，當交鏈劑濃度為 2wt% UV 光照射時間為 25min 時有最佳成效，是由於增加反應時間能使水性 PU 交鏈劑反應更為完整。使用 NMBA 其接枝率和 K/S 值也隨著交鏈劑濃度和 UV 光照射時間的增加而提升，當交鏈劑濃度為 1.5wt%、UV 光照射 25min 時可得最佳的效果，但 NMBA 添加過多會使得聚合物易脆裂剝落，以致降低接枝率進而 K/S 值也下降。

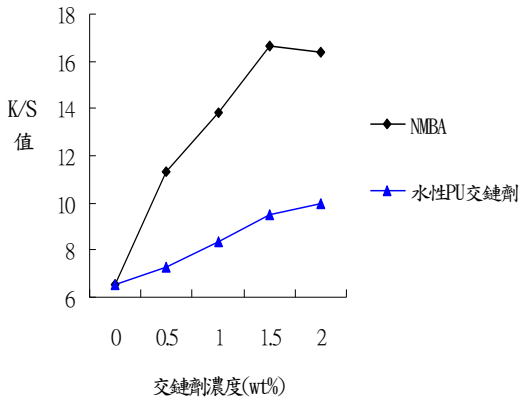


圖 7 PP 針織布於 150W 電漿 5min、AAm20wt%、UV 光照 20min 對改變交鏈劑濃度和交鏈劑種類對織物 K/S 值的影響

表 1 不同交鏈劑濃度、種類對照射不同 UV 光時間之接枝率及 K/S 值的關係(原布 K/S 值為 0.61)

交鏈劑種類	交鏈劑濃度(wt%)	UV光照射時間之接枝率(%)變化				UV光照射時間之K/S值變化			
		10min	15min	20min	25min	10min	15min	20min	25min
未添加	0	1.52	5.72	7.03	7.81	1.36	4.84	6.52	6.33
水性PU交鏈劑	0.5	1.99	6.58	7.78	8.83	1.13	5.52	7.30	7.64
	1.0	2.50	7.70	8.93	9.73	2.48	6.43	8.38	8.84
	1.5	2.68	7.81	9.82	10.06	3.27	7.47	9.52	10.24
	2.0	3.41	8.32	10.45	11.09	4.52	7.75	9.97	10.71
NMBA	0.5	2.74	10.45	11.65	11.71	3.14	9.82	11.33	11.45
	1.0	3.27	13.56	15.45	15.54	3.76	12.61	13.79	14.17
	1.5	6.80	16.25	17.74	17.95	7.45	15.32	16.62	16.86
	2.0	7.43	15.84	16.98	16.84	8.65	14.23	16.38	15.99

4-6 不同交鏈劑濃度、種類對耐水洗牢度及耐光牢度之影響

以氬氣、150W、5min、壓力 0.32mbar 電漿、交鏈劑 1.5wt%、AAm 濃度 20wt%和染料 Efactive Red 5BS、Efactive Yellow GRS、Efactive Blue RSN 皆爲 o.w.s 0.5%、照射 UV 光 20min 爲處理條件，對 PP 針織布進行處理，以探討不同交鏈劑濃度、種類對耐水洗牢度及耐光牢度之影響。由表 2 得知，隨著交鏈劑濃度增加，Red、Yellow、Blue 的耐水洗堅牢度及耐光堅牢度皆有提升。因交鏈劑添加能提高聚合物 PAAm 的固定性及包覆性，在水洗時 PAAm 更不易脫落，也減少染料暴露性，降低染料的破壞，進而提高耐水洗染色堅牢度及耐氙弧光染色堅牢度。

表 2 不同交鏈劑濃度、種類以 Red、Blue、Yellow 染料染色之耐水洗牢度及耐氙弧光牢度的變化

交鏈劑種類	交鏈劑濃度(wt%)	耐水洗牢度			耐氙弧光牢度		
		Red	Blue	Yellow	Red	Blue	Yellow
未添加	0	3-4	3	3-4	4	4	4-5
水性PU交鏈劑	0.5	3-4	3-4	4	4	4-5	4-5
	1.0	4	3-4	4-5	4-5	4-5	5
	1.5	4-5	4	4-5	4-5	4-5	5
	2.0	5	4-5	5	5	5	5
NMBA	0.5	4	3	3-4	4-5	4-5	5
	1.0	4	3-4	4	4-5	5	5-6
	1.5	4-5	4	4-5	5	5-6	5-6
	2.0	4-5	4	4-5	5	5-6	5-6

4-7 添加不同交鏈劑接枝改質聚丙烯織物對強力增加之影響

圖 8 爲以氬氣爲電漿氣體、處理瓦數 150W、時間 5 分鐘下，改變交鏈劑濃度改變強力之影響。從圖可發現交鏈劑濃度提高，其強力增加率也會跟著上升，其中又以水性 PU 交鏈劑之強力增加率最佳。另外由表 3 亦可證明提高單體濃度有助於提升強力。其原因是添加水性 PU 交鏈劑之聚合物能均勻地包覆於經過電漿處理後的纖維表面，使強力增加。

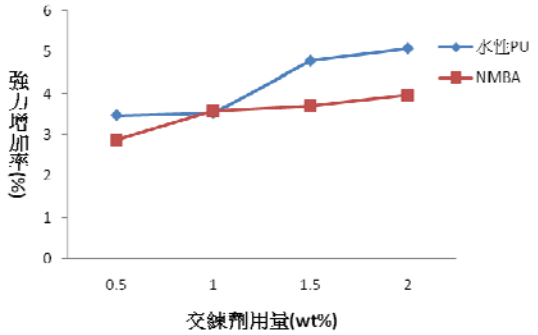


圖 8 聚丙烯織物添加不同交鏈劑接枝改質對強力之影響(電漿氣體爲氬氣、功率 150W、處理時間 5 分鐘)

表 3 丙烯醯胺單體濃度及交鏈劑對纖維強力增加率(%)之影響(電漿瓦數:150W、處理時間 5 分鐘、氣體:氬氣)

交鏈劑種類	交鏈劑比例(wt%)	丙烯醯胺單體濃度(wt%)			
		5	10	15	20
水性PU交鏈劑	0	2.52	2.76	2.95	3.25
	0.5	2.6	2.83	2.96	3.1
	1.0	2.8	2.84	2.98	3.18
	1.5	3.57	3.06	3.35	3.43
	2.0	3.71	3.97	4.08	4.35
NMBA交鏈劑	0	2.35	2.43	2.58	2.8
	0.5	2.43	2.63	2.71	2.82
	1.0	2.44	2.65	2.76	2.99
	1.5	2.6	2.8	2.83	3.07
	2.0	2.61	2.87	3.03	2.95

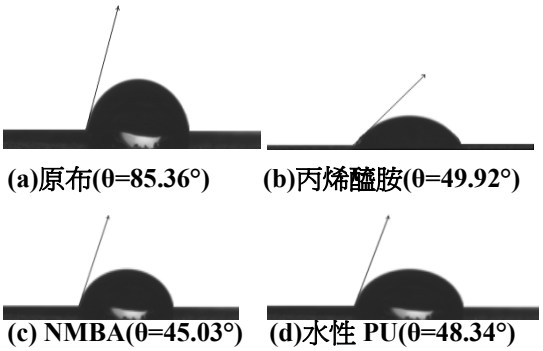
4-8 聚丙烯織物添加不同交鏈劑接枝對織物表面性能接觸角的影響

表 4 及圖 9 爲未經處理之原布及經丙烯醯胺處理之表面性能之比較。由表 4 及圖 9 中可得知，未經處理的織物其接觸角爲 85.36°，之後經由丙烯醯胺接枝處理後之織物之表面自由能隨著濃度提高而變大，接觸角變小，提高了親水性。

表 5 爲聚丙烯織物添加不同交鏈劑接枝處理之表面性能，從表可得知添加 NMBA 之表面活化能較添加水性 PU 交鏈劑來的高，其原因爲 NMBA 交鏈劑不僅產生交鏈，也含鏈延長的效果，使織物上的胺基更多，親水性佳。

表 4 聚丙烯織物未處理與丙烯醯胺處理後之表面性能的影響

性能	原布	丙烯醯胺濃度(wt%)			
		10	15	20	25
接觸角(θ)	85.36	55.64	52.45	49.92	45.71
表面自由能	33.58	35.42	37.58	38.26	39.04
極性	2.04	5.24	7.51	9.68	12.78
非極性	31.54	30.18	30.07	28.58	26.26



(a)原布(θ=85.36°) **(b)丙烯醯胺(θ=49.92°)**

(c) NMBA(θ=45.03°) **(d)水性 PU(θ=48.34°)**

圖 9 聚丙烯織物經不同接枝處理之接觸角變化(瓦數:150W、時間 5 分鐘、氣體:氬氣)

表 5 聚丙烯織物以不同交鏈劑處理之表面性能

性能	NMBA交鏈劑濃度(wt%)				水性PU交鏈劑濃度(wt%)			
	0.5	1.0	1.5	2.0	0.5	1.0	1.5	2.0
接觸角(θ)	46.93	46.91	45.03	44.37	50.59	48.96	48.34	47.21
表面自由能	44.29	49.31	49.78	50.4	39.52	39.85	39.94	40.37
極性	20.12	29.77	30.32	37.94	10.64	12.26	14.10	15.74
非極性	24.17	19.54	19.46	12.46	28.88	27.59	25.84	24.63

(5).結論

(1) 以氬氣作爲電漿氣體，將聚丙烯(PP)針織物經電漿處理後，其 PP 之接枝率隨電漿功率及電漿時間增加而上升；電漿功率 150W、5min 可得最佳之 PAAm 接枝率 9.82%。

(2) 隨交鏈劑的添加濃度增加，PP 針織布之接枝率會進而提高；當使用 NMBA 1.5(wt%)時，接枝率達 17.51%最高；而使用水性 PU 交鏈劑 2(wt%)時，得最佳接枝率 10.32%。

(3) 交鏈劑的添加與 AAm 濃度的提升能提高 PP 針織物之 K/S 值，其使用 NMBA 爲交鏈劑、AAm20wt%之 K/S16.62 值爲最佳值。

(4) PP 針織物之 K/S 值會隨交鏈劑濃度提高而上升，當交鏈劑 NMBA 爲 1.5wt%之 K/S 值 16.62 爲最佳值。

(5) 隨著增長 UV 光照射的時間，能使 PP 針織布之接枝率和 K/S 值進而提升，而 NMBA 之使用，較水性 PU 交鏈劑及未添加更具明顯效果。而添加水性 PU 交鏈劑時 2wt%時可得最佳接枝率、K/S 值；而添加 NMBA 1.5wt%可得最佳接枝率、K/S 值。

(6) PP 針織物之耐水洗染色堅牢度及耐氙弧光堅牢度會隨著交鏈劑濃度增加而提升，但 NMBA 與水性 PU 交鏈劑效果差異不大。

(7) 以丙烯醯胺接枝並添加不同交鏈劑之強力增加率隨著交鏈劑濃度提高而上升，其中更以添加水性 PU 交鏈劑之強力增加率較明顯。

(8) 聚丙烯織物經由電漿及丙烯醯胺處理後其親水性有明顯的改善，即極性值增加，表面自由能增大。另添加 NMBA 交鏈劑之親水性較添加水性 PU 交鏈劑之效果佳。

參考文獻

1 Necla Yaman, Esen Zdogan, Necdet Seventekin and Hakan Ayhan, Plasma treatment of polypropylene fabric for improved dye ability with soluble textile dyestuff, Applied Surface Science, **255**, 6764–6770(2009)

2 陳煌文、陳博洋、王權泉，聚丙烯纖維經甲基丙烯酸及丙烯酸接枝之溶劑效應研究，中國文化大學華岡紡織期刊，第九卷，第二期，118-127(2002)

3 S.M.Burkinshaw, P.E.Froehling and M. Mignanelli, The effect of hyperbranched

polymers on the dyeing of polypropylene fibers, Dyes and Pigments, **53**, 229–235(2002)

4 王權泉、胡美山、葉正濤、徐忠晧，超高強力聚乙烯以電漿及 E-Beam 行聚丙烯酸改質對染色性及染色堅牢度改善之研究，中國文化大學華岡紡織期刊，第十六卷，第二期，2-4(2009)

5 廖淑娟、 陳克紹，利用電漿沉積及後處理固定耐水親水性薄膜及其濕度感測特性研究，大同大學材料工程研究所碩士論文，台北市，中華民國，26-30(2007)

6 洪翠禪、陳克紹，材料表面的冷電漿聚合及表面接枝聚合水膠在生物醫學的應用，大同大學材料工程研究所碩士論文，台北市，中華民國，15-16(2007)

7 J.L.Garnetta, Loo-Teck Ng and Visay Viengkhou, Grafting of methyl methacrylate to cellulose and polypropylene with UV and ionising radiation in the presence of additives including CT complexes, Visay Viengkhoub Radiation Physics and Chemistry, **56**, 387-403(1999)

8 Heike Borcherding, Hans-Georg Hicke, Dierk Jorcke and Mathias Ulbricht, Surface functionalized microfiltration membranes for affinity separation, Mathias Ulbrichtb, Desalination, **149**, 297–302(2002)

9 陶旭晨、李磊、李莉莉，聚氨酯類羊毛防縮整理劑的製備和應用性能研究，毛紡科技，第十二期，10-12(2008)

華岡工程學報第 28 期 民國一百年六月 中國文化大學工學院
Hwa Kang Journal of Engineering, Chinese Culture University 28 (2011) 139-144

纖維素生產生質酒精之基礎研究

劉耀中[1]、李璜桂[2*]

[1]中國文化大學奈米材料研究所

[2]中國文化大學化材系

*Email: hklee@faculty.pccu.edu.tw

摘要

在本研究中使用了鹼法紙漿與纖維粉進行實驗，首先分別將樣品加入錐形瓶並加入糖化酵素進行七十二小時糖化過程，過程中每二十四小時測一次糖度，糖化完之後先活化酵母，再分別加入酵母進行七十二小時發酵過程將糖份轉化成乙醇，七十二小時後先分別取樣後放入離心機，離心完後取上清液測糖度並準備進行氣相層析儀分析，先以 LC 級乙醇進行分析並以圖與數據當檢量標準，最後再分析樣品並藉由檢量標準判斷樣品乙醇濃度。同時證實紙漿纖維為優質生產生質酒精的可行性。

關鍵字：纖維素、糖化、發酵、生質酒精

Basis research on Production biomass ethanol by cellulose

Yew-Chung Liu[1]、Huang-Kuei Lee[2*]

[1]Institute of Nanomaterials, Chinese Culture University

[2] Department of Chemical and Materials Engineering, Chinese Culture University

Abstract

In this article, use alkaline pulp and cellulose powder to experiment. The first is adding the fiber hydrolase and samples into the Erlenmeyer-flask for saccharification process for seventy-two hours. In this process, should conduct brix-measurements every twenty-four hours and activation of the yeast after the saccharification process. Then add yeast for sugar into ethanol for the fermentation process for seventy-two hours. After seventy-two hours, put the samples into centrifuge. Take samples after centrifugation at the top of the clear liquid to test sugar content. First to ethanol were analyzed and to analyze out data as a Calibration standard. Use standards of samples to analysis and calibration to judge by the samples of the ethanol concentration.

keywords：Cellulose, Saccharification, Termentation, Biomass ethanol

一、前言

100 多年來人類的主要能源以化石燃料爲主，特別是原油在人類的科技發展中扮演非常重要的要角，但是原油不是取之不盡的，在科技快速成長下原油被過度的開採及使用，很快的石油將會用盡，在這主要能源用盡前人類必須找出替代的能源來源。

隨著人類文明的發展，經濟活動的頻繁與人口的增加，能源使用持續增加，依據IEA（2008）世界能源展望指出未來至2030年化石能源仍維持主導地位，然面對能源需求持續增加、能源價格波動、金融風暴影響，世界能源安全威脅與日劇增。石油與天然氣將在二十一世紀結束前開採困難甚至用完，如果到時沒有替代能源，估計將會有一波全球性毀滅性的石化能源危機。此外，燃燒石化燃料會排放大量溫室氣體，溫室氣體會引發溫室效應，導致氣候暖化，使得管制溫室氣體排放之問題逐漸受到注目。

在經濟環保問題與能源危機的雙重壓力下，許多國家都開始發展尋找替代能源；其中再生能源是主要的一項目標，再生能源包括太陽能、風力、地熱、水力、海洋能、生質能…等等，其中以生質能的比例最高，生質能是以化學能形式蓄存在生物質裡，而生質能的來源是由太陽能轉化而來可以算是太陽能的另一種表現，開發生質能可以降低對石化燃料的依賴還可以增加自產能源、提高能源自給率等優點。

在眾多生質能源中，以生質乙醇最受矚目，由於生質乙醇具有高純度、儲存方便與低危險性等優點，與汽油混合並添加催化劑下可用於汽車引擎，亦可加在柴油中並添加乳化劑也可以用來當引擎燃料，而且乙醇可以提供氧氣燃料，藉以降低一氧化碳跟非可燃性碳氫化合物的排放量。當今巴西是是推廣生質酒精最成功的國家，該國以大量種植甘蔗用以製作蔗糖當原料，並以提煉之糖蜜來生產生質乙醇，以2005年爲例，其生質乙醇之產量已達1,680萬公秉，其中之1,430萬公秉用來供應巴西國內燃料需求；除了巴西以外，其他國家也開始立法強制添加或是透過免稅等方式，推廣生質酒精當燃料。台灣政府也在發展再生能源之政策下，宣布於2007年起試辦汽油添加生質乙醇之計畫，並擬於2008年強制在汽油中添加1%之生質乙醇，2011年全面強制加油站供給添加3%生質乙醇的汽油〔1〕；因此從國內外之發展趨勢來看，生質乙醇確實具有相當的未來性。

巴西與其他國家生產生質乙醇多使用高澱粉高糖分的作物當原料，可是在人口快速增加的情形下出現糧食短缺的問題，所以是否能以其他替代物當生質乙醇的原料，是值得探討的部分。爲了降低生產成本，選擇低成本的原料顯然是必要的，但是在顧及糧食供需的問題下以含有木質纖維的農作廢棄物或草本植物、木本植物等作原料，是爭議最少的選擇。本研究將使用不與糧食市場競爭之原料如：農產精油萃取或香菇生產後的農業廢棄物，投入生質乙醇之研製。根據日本第76回紙漿與紙研究發表會2009（76th）P.140頁發表內容，秋田縣已在建立試驗工廠生產農產廢棄木質生質乙醇生產設備，估計到2030年間伐木材的生質乙醇產量可達200~220萬公秉，目前日本的木材生質能源的發展已經到達工廠生產的階段〔2〕，台灣每年的農產廢棄木質纖維還有颱風過後都會有大量漂流木，如果台灣能發展出以廢棄木質纖維素質做生質乙醇的成熟技術，在能源與環保的問題上就可以得到紓解。

二、理論

再生能源的種類非常多種，本實驗著眼點在於以纖維素生產生質酒精，過去爲了提高生質酒精的產率，原料是使用甘蔗、玉米等高糖度高澱粉的糧食作物去製作，但是隨著人口迅速成長，糧食日漸短缺，爲了能兼顧糧食來源、環境與能源，必須尋找新的生質酒精生產原料，其中以紙漿纖維當原料是一個可行的方法〔3〕。紙漿纖維在人類的生活中隨處可見如：廢紙、再生紙等，先取定量等重的再生紙與纖維粉，再調配緩衝液並加入糖化酵素在適當的溫度下進行糖化〔4〕，糖化完後先過濾取得糖化液，同時進行酵母活化，活化完成後再把活化的酵母加入糖化液中進行發酵，發酵完成後用離心機離心，取上清液進行氣相層析儀分析，如果可以產生乙醇且達50%

以上，即可證明以纖維素生產生質酒精是較為可行的方法。

三、實驗

(一)實驗材料與設備

1.原生紙漿
2.纖維粉
3.氫氧化鈉(NaOH)
4.檸檬酸
5.檸檬酸鈉
6.二硝基水楊酸(DNS)
7.酒石酸鉀納
8.葡萄糖粉
9.木糖粉
10.纖維水解酶
11.酒精酵母
12.500ml 三角燒瓶
13.250ml 三角燒瓶
14.1000ml 燒杯
14.試管
15.量桶
16.恆溫水槽
17.氣相層析儀(GC)
18.UV 分光光度計
19.光學式糖度計(MASTER-M)
20.電子 PH 值測定計
21.電子天平
22.離心機

(二)纖維素生產生質酒精之製程

1.纖維水解酵素分解纖維素與半纖維素

使用 1000ml 的燒杯，配置 1000ml 檸檬酸緩衝液。以 1000ml 之蒸餾水加入 4.83g 之單水檸檬酸和 8g 之檸檬酸鈉，檢測 PH 值約為 4.6，再以氫氧化鈉(NaOH)溶液調整至 PH 值 4.8。〔5-6〕取兩個 250ml 之三角燒瓶編號 1 至 2 號，(1 號瓶濾紙(撕成小片)、2 號瓶纖維粉)，各 2g 的原料。各加入 199ml 檸檬酸緩衝液＋1ml 酵素後，放入恆溫水槽中以 45℃進行糖化。每 24 小時取樣一次，每個樣本各取 1ml 各別裝入試管，以滴管吸取 2~3 滴樣本用糖度計測定糖度。每 24 小時取樣一次，每個樣本另外各取 1ml 各別裝入試管，加入 1mlDNS 試劑，在 70~100℃的熱水中水浴 5 分鐘，再加入 3ml 蒸餾水稀釋。各取 1.5ml 去進行 UV 分光光度計測試。〔5-6〕

2.加入酵母進行生質酒精之製造

取 5 公克溫水(蒸餾水 38~40℃)加入 0.1 公克蔗糖，充分攪拌使蔗糖完全溶解。再加入水果酒酵母 0.25~0.3 公克，攪拌使之充分溶解(此時酵母開始活化，型成泡沫狀)。將活化的酵母分別加入糖化液中進行發酵(如果糖度太低，需要提高 2~3 倍酵母量)。等待三天後取樣，並測量糖度。先以 LC 級乙醇，測出乙醇的波峰大約位置跟出現時間，並以此為檢量基準〔7-8〕。再進行樣品的乙醇濃度測定。

四、結果與討論

1.以纖維水解酵素分解纖維素與半纖維素之探討

用紙漿與纖維粉加入纖維水解酵素〔9〕，此為糖化過程。為了確保纖維水解酶有充分發揮作用分解纖維素，因此進行七十二小時的連續實驗，糖化完後要對樣品進行糖度測定，此實驗使用光學式糖度計和 UV 分光光度計進行糖度測量。

在光學式糖度計的測試方面，紙漿在取樣時，前兩次取樣的糖度都沒變，第三次取樣時糖度都上升 0.2%，可能是紙漿需要較久的時間分解或是取樣深度等人為因素導致。纖維粉三次取樣的糖度都沒改變，推測纖維粉可在 24 小時內糖化完畢(見圖 1.)。

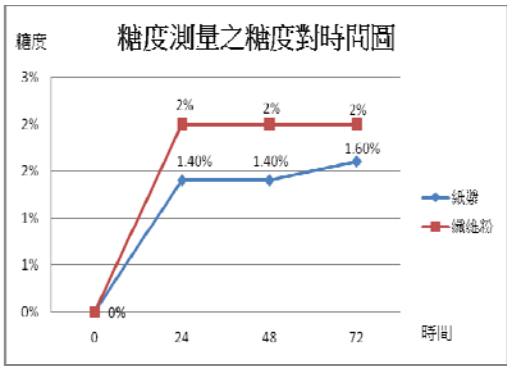


圖 1.糖度測量之糖度對時間圖。

註：橫軸是時間(Hours)，縱軸是糖度(%)。

在 UV 分光光度計的測試方面，此實驗以 DNS 法進行測試，先調配葡萄糖標準溶液，取 5 支試管，按表加入 1000 mg/ml 標準葡萄糖液及蒸餾水以得 100 μg/ml－800 μg/ml 的標準溶液。並以此標準所測得之 UV 光值製作檢量線。製作此檢量線的目的為做定量分析，以五種不同濃度的葡萄糖溶液，畫成 UV 光值對橫軸的檢量線，將未知濃度帶入這檢量線中，便可知道這未知濃度為多少(見圖 2.)。

接著進行樣品的 DNS 法 UV 分光光度計測試，進行此測試是為了更精確的推算纖維水解酶分解纖維素後產生的糖量，樣品數據出來後可跟檢量線搭配算出糖量(見表 1.)。

以沒加基質的緩衝液加入 DNS 並經過 5 分鐘 70~100℃的水浴，因為不含還原糖所以不會產生還原變色反應，以此當基準比較樣品的變色程度。每個樣品取樣三次，使用數據作圖時要取平均值作圖，此外同個樣本連打三次有時會出現較大的偏差，可能是樣本在打 UV 前放置在日光燈下等候測試時吸光或是打三次時吸取 UV 光的誤差，變色越深的樣本此現象越明顯。

編號 1 的樣本為葡萄糖標準溶液 100 μg/ml。編號 2 的樣本為葡萄糖標準溶液 200 μg/ml。編號 3 的樣本為葡萄糖標準溶液 400 μg/ml。編號 4 的樣本為葡萄糖標準溶液 600 μg/ml。編號 5 的樣本為葡萄糖標準溶液 800 μg/ml。

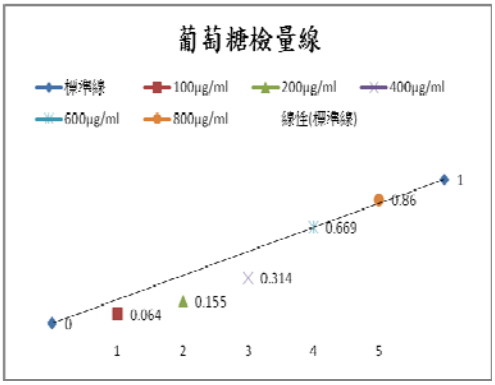


圖 2. DNS 法葡萄糖 UV 光值葡萄糖檢量線圖。

表 1.DNS 法測得樣品的 UV 光值平均值與推算糖量之數據。

樣本	紙漿	纖維粉
第一次	2.544	3.035
糖度	2281.614 μg/ml	2721.973 μg/ml
第二次	2.997	2.964
糖度	2687.892 μg/ml	2658.296 μg/ml
第三次	2.966	2.798
糖度	2660.090 μg/ml	2509.417 μg/ml

2.加入酵母生產生質酒精之探討

糖化完後先將液體過濾出來，並以光學式糖度計測糖度(見表 2.)，接著準備進行發酵，先將樣品跟活化酵母用的葡萄糖液以鋁箔紙封口，並放入滅菌釜中滅菌 35 分鐘，滅完菌後取出葡萄糖液跟樣品等待其冷卻至室溫，先將恆溫震盪水槽調至 36℃並待其恆溫。到達 36℃後在將酵母放入葡萄糖液中並將其置入水槽中以 100rpm 的頻率活化酵母，大約 20~30 分鐘後可以看到瓶子中開始產生泡沫就表示活化好了，接著將水槽溫度調至 38℃並待其恆溫。水溫到了之後將活化好的酵母分別加入樣品中，然後將加好酵母的樣品置入水槽中以 100rpm 的頻率進行發酵過程 72 小時，過

程中須隨時注意水槽水量。72 小時後開始取樣，用離心用試管取樣後分別將兩個樣品放入離心機中，以 2000rpm 離心 20 分鐘，離心完後再測一次糖度(見表 3.)藉以跟發酵前比較消耗了多少糖份，測完後進行氣相層析(GC)分析，先打入 LC 級乙醇(純度 99.99%)當標準品，最後分別分析四種樣品取得 GC 數據。

對樣品進行氣相層析（GC）分析後可得到相關數據，如：波峰出現的時間、波峰的高度與波峰的面積等，打入 LC 級乙醇(純度 99.99%)當標準品是為了得知乙醇的波峰出現的時間並可得知 99.99%乙醇的波峰總面積，之後打入樣品便可取得樣品中的乙醇波峰總面積（見圖 3.）以此數據跟標準品的數據去推算便可得知樣品的乙醇濃度（見圖 4.）。

1 號樣本(紙漿糖化液)、2 號樣本(纖維粉糖化液)、LC(LC 級乙醇)。

表 2.發酵前的糖度數據。

編號	3	4
24 hours	1.3%	2.0%
48 hours	1.8%	2.0%
72 hours	1.8%	2.0%
最後糖份定量	3.610g	4.030g

表 3.發酵後的糖度數據。

編號	3	4
發酵完的糖度	1.75%	1%
糖份定量	3.510g	2.015g

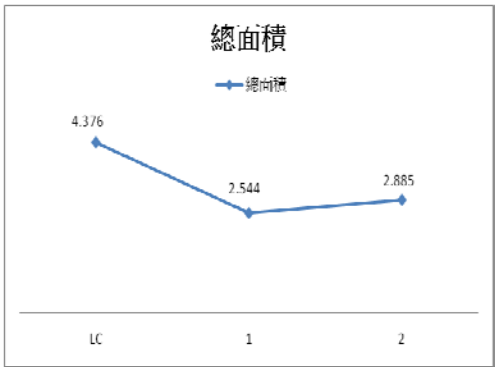


圖 3.氣相層析的數據折線圖。

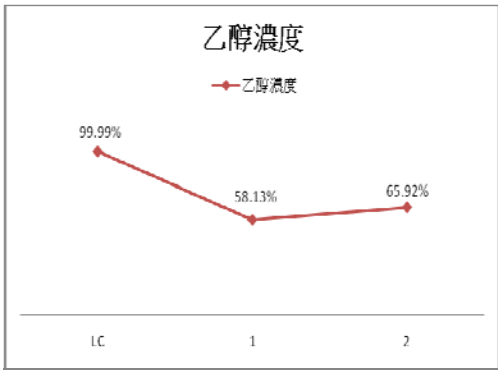


圖 4.標準品及樣品的乙醇濃度折線圖。

五、結論

本實驗的主要目的是使用紙漿、纖維原料等使之成為生產生質酒精的原料，透過這次實驗來測試可行性，本實驗中用來測糖度的儀器是定性光學式的儀器，使得樣品的顏色深淺多少會影響糖度的測定，因而在糖化階段遇上較大的困難與誤差，以及就算使用纖維粉跟紙漿並同時使用較高濃度纖維分解脢，最高也只能到達 2%糖度，因此如何準確測定糖度跟糖量成為此次實驗最大的難題，因為纖維水解酶分解纖維素的產物並不只有葡萄糖跟木糖，還包括阿拉伯糖等其他五碳糖與六碳糖，有可能光學式糖度測不出來，要解決問題就必須搭配非光學式的儀器測糖度或是糖份含量如：液相層析儀（HPLC），但是就算在低糖度的情況下，生質乙醇的濃度也都有 58%以上，由此可判斷過濾掉樣品中的雜質後剩下的液體中生質乙醇的含量過半，因此以纖維素生產生質酒精具可行性。

此實驗步驟簡單而且原料又是隨處可見的紙類，紙類原本就是植物經過處理後留下的纖維素去製作的，收集到的紙類經過去汙處理後便可當原料， 未來技術更成熟時生質乙醇的產率勢必能夠提升，在新的主流能源被發現前，定能成為替代能源之一。

參考文獻

〔1〕經濟部能源局。2005。能源政策白皮書。台北：經濟部能源局。網址：http://www.moeaec.gov.tw/policy/EnergyWhitePaper/94/main/main.htmL。

〔2〕真柄謙吾、池田 努、野尻昌信、涉谷 源。日本第 76 回紙漿與紙研究發表會 2009（76th）。2009。日本：JAPAN TAPPI 日本紙與紙漿技術協會。(P.140)

〔3〕真柄謙吾、池田 努、野尻昌信。2010 年 5 月日本紙漿技術協會誌：第 64 卷第 5 號 P.493-495。使用紙漿蒸解技術生產生質酒精。

〔4〕黃維凡。2006。以前處理提升稻穀纖維素水解效率之研究。碩士論文。台北：台灣大學生物產業機電工程學研究所。

〔5〕齊倍慶。2000。從堆肥中篩選纖維素分解酵素生產菌及其酵素性質研究。碩士論文。新竹：國立清華大學生命科學研究所。

〔6〕張思賢。2007。利用同步醣化與發酵向日葵葉柄產製生質酒精之研究。碩士論文。台北：台灣大學生物資源暨農學院生物產業機電工程學系。

〔7〕陳偉任。2007。蔗渣產製生質乙醇。碩士論文：台北：台灣大學生物產業機電工程學研究所。

〔8〕Aiello, C., A. Ledesma. 1996. Effect of alkaline treatments at various temperatures on cellulose and biomass production using submerged sugarcane bagasse fermentation with Trichoderma reesei QM 9414. Bioresource Technology 57:13-18.

〔9〕Bhat, M. K., and S. Bhat. 1997. Cellulose degrading enzymes and their potential industrial applications. Biotechnology Advances 15:583-620.

華岡工程學報第 28 期 民國一百年六月 中國文化大學工學院
Hwa Kang Journal of Engineering, Chinese Culture University 28 (2011) 145-152

聚乙烯醇與天然澱粉合膠之製備及性質研究

黃柏琅 [1]、劉孟泊 [1]、李璜桂 [2]*

[1] 中國文化大學奈米材料研究所

[2] 中國文化大學化學工程與材料工程學系

*Email: hklee@faculty.pccu.edu.tw

摘要

本研究是以個別塑化聚乙烯醇與糊化玉米澱粉，再進行摻合的方式製造合膠。討論在不同的甘油比例(4%-24%)的塑化下，對不同比例之擬可塑性聚乙烯醇(13%) / 擬熱可塑性糊化澱粉(0-20%)合膠，進行各項性質分析。在製程比較中，可知澱粉糊化越久，可得較軟性質的合膠，由掃描式電子顯微鏡圖中也顯示，可得較完整之斷面。在不同濃度比較，由抗張測試可知，隨著甘油的增加，機械性出現下降的趨勢，但在斷裂點延伸率上，添加8%甘油得到最大值，故本實驗 8%甘油為最佳之塑化濃度。另外添加的澱粉濃度增高，最大應力與楊氏係數也有增大的趨勢。熱動分析中，熱裂解分析重量損失會隨著澱粉增加而減小，增加熱穩定性。微觀形態學方面，可發現裂紋與孔洞是造成機械性質不佳的主因。

關鍵詞：生物可分解、聚乙烯醇、澱粉糊化、甘油。

Research on the Preparation and Properties of Polyvinyl Alcohol/Natural Starch Blends

Po-Lang Huang[1], Meng-Bo Liou[1], Huang-Kuei Lee[2]*

[1]Institute of Nanomaterials, Chinese Culture University

[2]Department of Chemical and Materials Engineering, Chinese Culture University

Abstract

The purpose of this study was individually plasticizing PVA and gelatinized corn starch, and blended these materials together, respectively. Different amount of glycerol for plasticizing and variable ratio of starch blending PVA, were also investigated in this study.On comparsing different manufacturing processes, revealed starch gelatinizing time extended would cause samples softer. FE-SEM (Field emission scanning electron mircoscope) pictures shows the clear fracture, which can be perfectly obtained.On comparising different hybrid material forming ratio, the results of tensile test showed amount of glycerol increasing would cause mechanical properties decreasing. The maximum elongation at break appeared at glycerol amount arrived 8%. Tensile strength and Young' s modulus were advanced by increasing the amount of starch.

From TGA analysis, thermal stability was advanced by increasing starch content. Hardness will increase in the second dried process. In morphology, cracks and holes would lead pigments to a poor mechanical properties.

Keyword: Biodegradable, PVA, gelatinized Starch, Glycerol.

一、前言

石油的發現加速了工業上的發展，人類爲了創造出更多滿足人類需求的產品、提高更舒適的生活水平，所以毫無節制地開發地球上的天然資源。但伴隨而來的是環境汙染。地球生態環境在近數十年遭到嚴重的破壞。依美國蓋洛普工業發展報告顯示，2000 年時美國都市產生的固體垃圾約 2.16 噸，其中廢棄塑膠約佔 9.8%（若按體積計達 30%以上），而且每年以 6.25%的速度增加【1】，預計在 2010 年達到 3 億噸。其中有 35%是使用於包裝材上。現代大多以焚化與掩埋法來處理廢棄物【2】，但舊型的高分子聚合物具長期的安定性、且熱值過高。以焚化的方式不僅成本昂貴，也會減少焚化爐的使用年限。同時也容易造成有毒物產生，造成二次汙染。掩埋法也因有不易分解及二次汙染的疑慮而不適用。另外，傳統塑膠從原料取得、生產製造到最後被消費棄置的整個階段，對環境負荷相當大，也是對環境衝擊的原因之一【3】。

在全球環保意識的抬頭後，許多先進國家正限制使用或強制回收，減低固體廢棄物對環境的衝擊，因此另一種新興材料-「生物可分解性材料」於是誕生。生物可分解性材料在適當條件下能完全分解，以焚化、掩埋的方式對環境的影響也低於傳統塑膠產物【2】。因此利用澱粉等原料製造生物分解材料被評估爲解決環境問題的一項指針。

台灣塑膠廢棄物佔垃圾量的 15%，自民國 92 年初開始實施購物用塑膠袋和塑膠免洗餐具限用的政策。經環保署評估，可使塑膠和保麗龍的使用量減少 30-37%。大眾對生活品質的要求以及環保意識提升後，已有企業投入永續經營的理念，未來將投入更多綠色塑膠（Bio-Plastic）爲主的產業。科學家期望未來的新產品可以取代目前常用的塑膠製品如垃圾袋、尿布襯、塑膠瓶、購物袋等各種容器等【4】。

生物可分解塑膠在成本上雖然無法和石化塑膠相比，但現階段已有進行商品化生產的生物可分解塑膠。

在使用生物可分解塑膠於包裝上，提供了一種新的替代方案以解決惰性聚合物在環境中的累積【5-6】。因此利用澱粉研發成塑膠材料已經成爲相當多先進國家的科技重點【7-10】。市面上已有生物可分解材料與澱粉合膠並加入塑化劑共混，且可降低成本並提高加工性質，如偉盟工業股份有限公司以 PLA(聚乳酸)與澱粉共混、Novon 及 Mater-Bi 皆用 PVA 與澱粉共混成生物可分解塑膠【11】，但是用澱粉添加後合膠通常缺乏強度和剛度承受外力【12-13】。生物可分解材料價位稍高，耐抗張、撕裂等機械性質又不及傳統 PE 塑膠袋【14】，且製程上又因聚乙烯醇之特性，不太能接受熱融化時的處理，故仍需設法改進。生物可分解塑膠聚乙烯醇的混合薄膜雖然已有相關的資料【15-18】，在混合合膠性質上，可進一步研究來確定樣品的特異性質或表面功能。此研究主要利用 PVA 與澱粉進行合膠摻合製作軟性包材，利用不同製程方式及不同濃度比例配置來深入探討 PVA/starch 合膠 performance/cost 之最佳化，期許生物可分解塑膠其機械性質能接近傳統 PE 塑膠。

二、實驗

（一）實驗材料

1.聚乙烯醇（Polyvinyl alcohol）

公司：長春石油化學公司

型號：BF-17

鹼化度：98.5～99.2 mole %

聚合度：1700

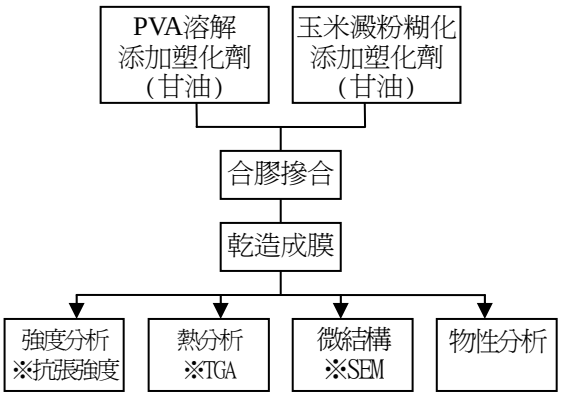
熔點：260℃

2.玉米澱粉（食用級澱粉）
公司：日正食品公司
3.甘油
公司：益和貿易股份有限公司
沸點：290℃
密度：1.265 g/cm^3

（二）實驗設備
1.烘箱（Oven）
2.真空烘箱（Vacuum Oven）
3. 萬能拉力機（Universal Tensile Testing Instrument）
4. 示差掃描熱量儀（Differential Scanning Calorimeter, DSC）
5.熱重分析儀（Thermogravimetric Analyzer, TGA）TGA，Perkin Elmer
6.場發射槍掃描式電子顯微鏡（Field emission Scanning Electron Microscope, FESEM）

（三）實驗流程

PVA/澱粉 合膠製備實驗流程



（四）實驗步驟
1.將澱粉經球磨機研磨轉速 120 rpm，時間 8 分鐘後，放置烘箱 24 小時。
2.將 PVA 粉末放置烘箱乾燥 24 小時。
3.以 13%PVA 水溶液爲基準，依照表 1 之比例，調配不同百分比例之甘油、澱粉合膠濃度。

表 1、Gelatinized PVA and gelatinized starch contents

熱可塑性 PVA		熱可塑性澱粉	
PVA（wt%）	甘油（%）	澱粉（%）	甘油（%）
13%	4%	-	-
	4%	5%	4%
	4%	10%	4%
	4%	15%	4%
	4%	20%	4%
13%	8%	-	-
	8%	5%	8%
	8%	10%	8%
	8%	15%	8%
	8%	20%	8%
13%	16%	-	-
	16%	5%	16%
	16%	10%	16%
	16%	15%	16%
	16%	20%	16%
13%	24%	-	-
	24%	5%	24%
	24%	10%	24%
	24%	15%	24%
	24%	20%	24%

4.將 PVA 加水放置 90℃熱水浴攪拌 1 小時。
5.倒入甘油塑化 15 分鐘
6.加入以 70℃澱粉糊化時間 30 分鐘（於糊化 15 分鐘時加入甘油塑化）。
7.攪拌 1 小時。
8.待樣品冷卻，將 PVA/Starch 之合膠倒入直徑 9 公分之培養皿（重量固定在 15±1 克）。
9.放置透濕機（24℃）中，時間 24 小時除水。
10.再放置烘箱（50℃），24 小時除去多餘之水份。

（五）測試標準

1.拉伸測試（Tensile test）

2.熱重量分析儀測試（TGA test）

3.場發射槍掃描式電子顯微鏡（FESEM）型態觀察

三、結果與討論

本實驗根據民國 98 年 蔡郢倢 生物可分解塑膠材料 PVA 與澱粉合膠之製備及性質研究結論發展，採用個別塑化方式製作合膠。並從糊化澱粉與添加不同比例塑化劑（甘油）來探討合膠之性質與加工性【19】。

（一）拉伸測試結果（Tensile test）

拉伸測試是藉萬能拉力機對 PVA/Starch 合膠進行測試，由圖 1、圖 2、圖 3、圖 4 所示之應力-應變圖可知，在 4%甘油系統中，添加甘油量最小，接近於 PVA 原性質之狀態，因此變化趨勢明顯。8%、16%與 24%較無明顯趨勢，此表示添加適量甘油，可以使合膠摻合性質改變。

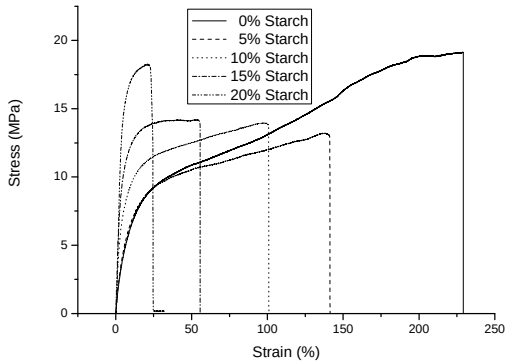


圖 1、Typical stress-strain curves of PVA/Starch blends in 4% glycerol

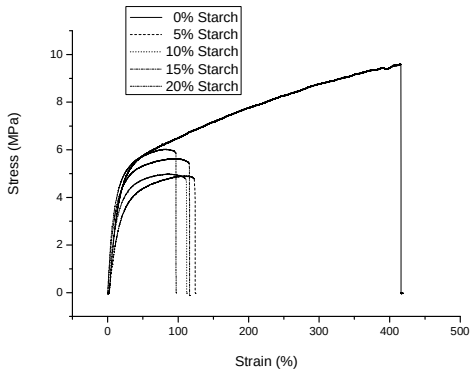


圖 2、Typical stress-strain curves of PVA/Starch blends in 8% glycerol

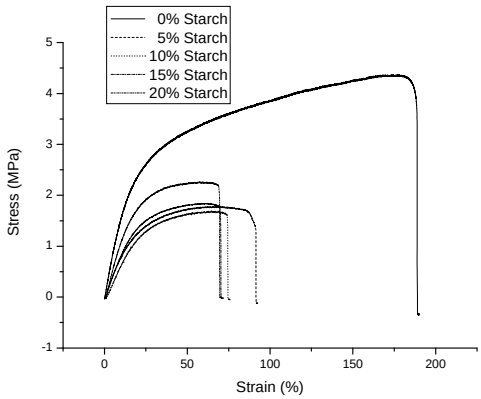


圖 3、Typical stress-strain curves of PVA/Starch blends in 16% glycerol

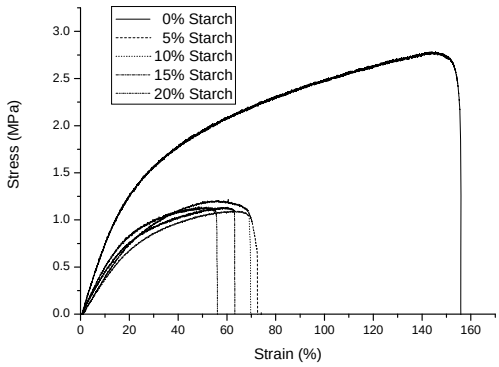


圖 4、Typical stress-strain curves of PVA/Starch blends in 24% glycerol

（二）熱重性質分析（TGA test）

在 TGA 測試方面，將（重量損失率-溫度）曲線微分做分析，可得知測試材料裂解的終點溫度（T_f），單一成分僅有一個階段裂解過程，對於雙成分合膠而言，則有兩個階段的裂解過程。

其結果在第一次裂解與第二次最大裂解溫度發生時，Tmax 變化量不大，表示合膠之熱穩定性佳。

在第一階段裂解 Tmax 發生時的重量損失可看出，添加澱粉濃度增加，重量損失的比例呈現減小之情況。推測糊化澱粉的摻混比例增加時，將有助於合膠耐熱性質的增加。圖 5、圖 6、圖 7、圖 8 爲不同比例摻混的 PVA/starch 合膠之熱重損失分析測試結果。從起始的重量損失來觀察並非水平直線，因此表示有物質損失。最主要的損失歸納爲水份的蒸發，其區間發生於 30~140℃。除了樣品本身之水分子外，也會由濕度造成的物理吸化學附造成最初階段輕微的重量損失的現象【20-21】。接著隨溫度的增加後，再進入第一與第二次的裂解情況。

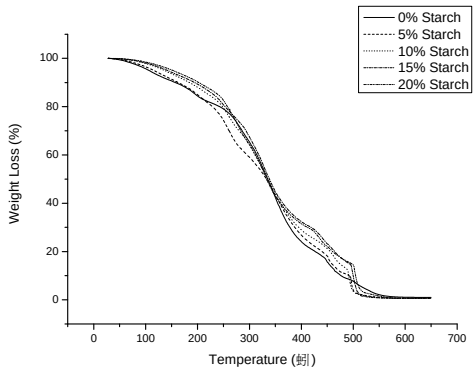


圖 5、TGA curves of PVA/ starch blends in 4% glycerol

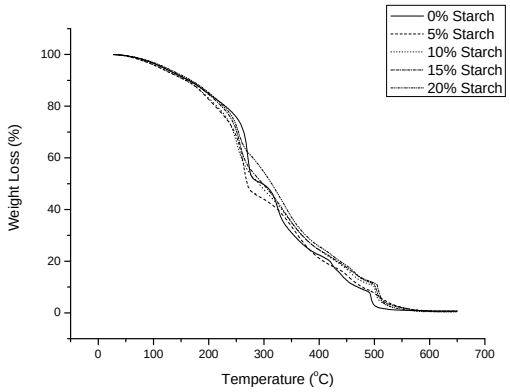


圖 6、TGA curves of PVA/ starch blends in 8% glycerol

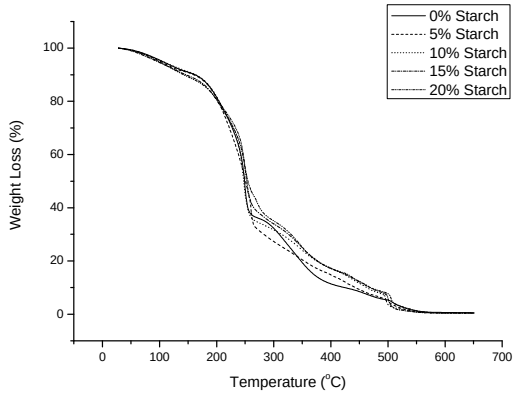


圖 7、TGA curves of PVA/ starch blends in 16% glycerol

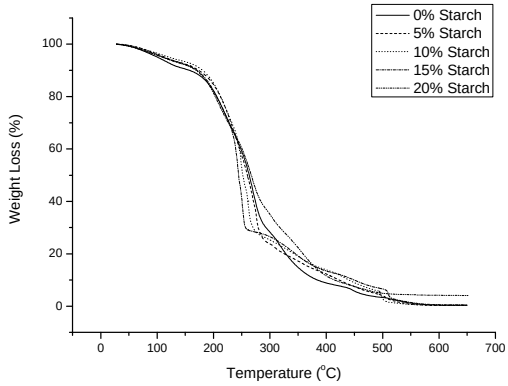


圖 8、TGA curves of PVA/ starch blends in 24% glycerol

（三）微觀結構分析（FESEM）

在微觀形態學方面，如圖 9、圖 10、圖 11、圖 12 所示。斷面形態中，依不同倍率下(x500、x3000)各合膠系統，皆有拍到孔洞的現象，澱粉因經過糊化的作用，使得澱粉的顆粒尺寸變大形成較大的膠狀型態。隨著水份的減少，分子內的氫鍵再度形成，使得 PVA/Starch 合膠斷面形成層狀的波紋。其中 4%與 8%甘油添加量較小，合膠結構較爲緊實，較無明顯孔洞的散布。16%與 24%甘油系統因塑化程度高，使得內聚力減小，因而在斷面形成較明顯的網狀裂紋與孔洞，此也爲造成機械性質不佳之主因。

在平面形態中，甘油的添加防止澱粉氫鍵結合再聚集作用外，也且同時使合膠顆粒尺寸變小，故較高甘油比例下，平面照顯示顆粒較無團聚現象，使分散性增加，經觀察顆粒最小可達 1μm 左右。

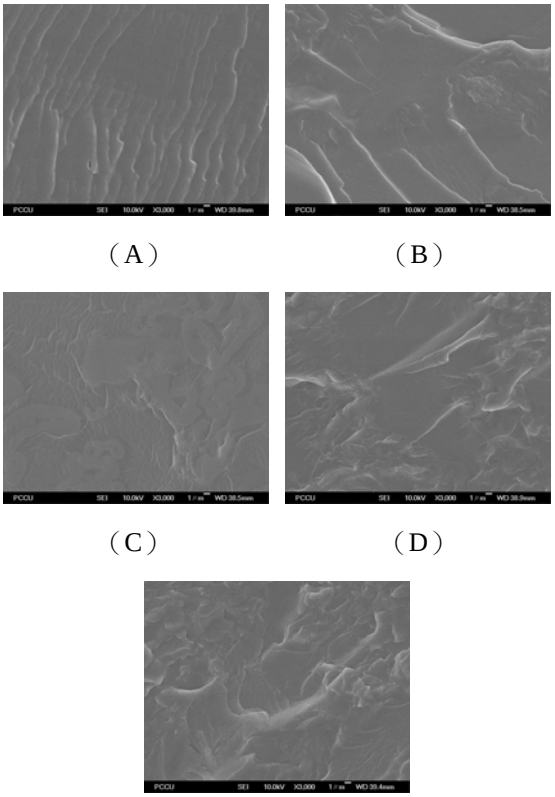


圖 9、The FESEM pictures of PVA/starch blends in 4% glycerol include: (A) 0% (B) 5% (C) 10% (D) 15% (E) 20% Starch. top cross (X3000).

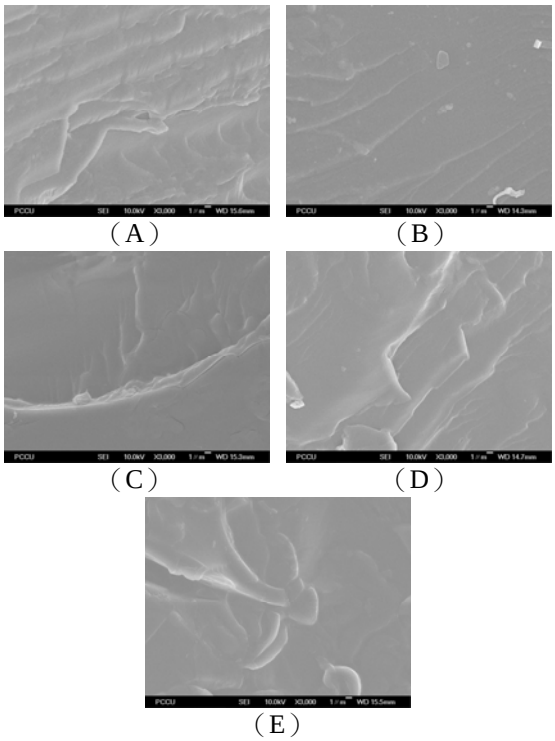


圖 10、The FESEM pictures **of PVA/starch blends in 8% glycerol include: (A) 0% (B) 5% (C) 10% (D) 15% (E) 20% Starch. top cross (X3000).**

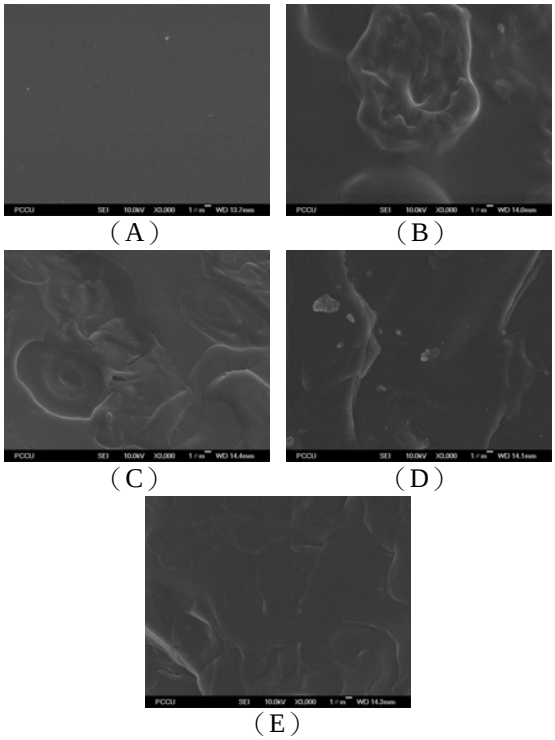


圖 11、The FESEM **pictures of PVA/starch blends in 16% glycerol include: (A) 0% (B) 5% (C) 10% (D) 15% (E) 20% Starch. top cross (X3000).**

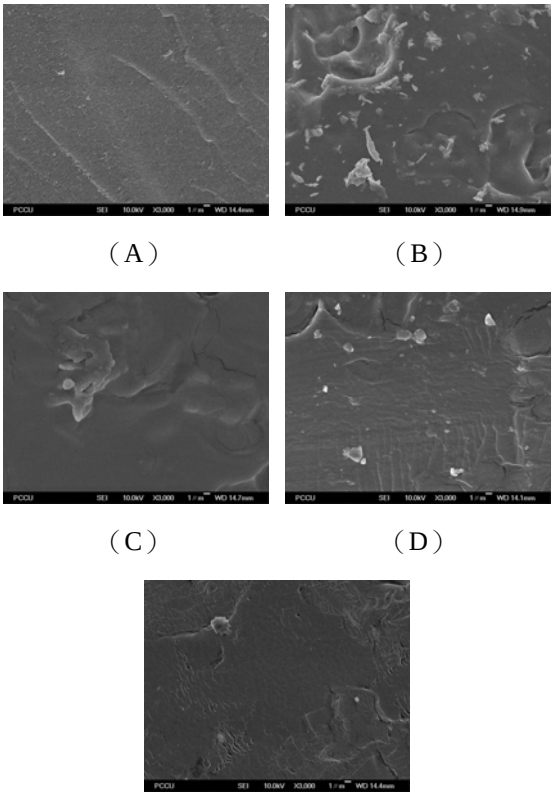


圖 12、The FESEM pictures of PVA/starch blends in 24% glycerol include: (A) 0% (B) 5% (C) 10% (D) 15% (E) 20% Starch. top cross (X3000).

四、結論

改變澱粉與甘油不同濃度後之性質進行分析結果，在澱粉濃度改變的影響下，當 PVA 摻混澱粉後會使得包覆界面間產生不連續相，因此機械性質較純 PVA 低，但依澱粉比例增加可以使材質變得較硬脆，使最大應力回升；延伸率性質則會隨著澱粉濃度增加而縮小。在改變甘油的濃度後，得知添加 16%甘油因已是較高濃度塑化劑，所以在最大應力表現出較低數值，受澱粉濃度影響並不大。顯示甘油在高濃度影響程度遠大於澱粉；在延伸率方面以添加 8%甘油比例保持穩定的延伸量，故判定爲本實驗最佳之塑化濃度。

熱性質分析上，Tmax 變化量不大，顯示合膠之熱穩定性佳;第一階段裂解 Tmax 隨澱粉濃度增加，重量損失比例減小；由上述可知糊化澱粉的摻混比例增加，有助於合膠耐熱性質。

微觀形態學方面，4%與 8%甘油合膠系統之斷面形態，合膠結構較爲緊實，較無明顯孔洞的散布。16%與 24%甘油系統在斷面形態中有較明顯的網狀裂紋與孔洞，爲造成機械性質不佳之主因。在平面形態中，甘油的添加可使合膠顆粒尺寸變小，增加分散性。本論文可知添加較高濃度之甘油有較佳加工性，將有助於生物可分解性塑膠在加工上的發展。

參考文獻

[1] 姜燮堂，分解性塑膠，交銀產業調查與技術季刊, 137, 4(2001).

[2] 黃建銘，"現皆段台灣生物可分解材料與堆肥推廣現況" ，環境材料研討會，(2001).

[3] G. Scott, Polymers and the environment, Royal Socity of Chem., (1999).

[4] 葉開溫，陳志成，生物產業，6(4)，305 (1995)

[5] W.R. Volkenburgh, M.A. White, Tappi J. 76 193 (1993).

[6] G. Scott, D. Gilead, Degradable polymers in waste and litter control, in: Degradable Polymers — Principles and Applications, Chapman & Hall, London (1995).

[7] G. Scott, Royal Society of Chem., (1999)

[8] U. Funke, W. Bergthaller & M. G. Lindhauer, Polym. Deg. and Sta., 59, 293 (1998).

[9] U. R. Vaidya and M. Bhattacharya, J. Appl. Ploym. Sci., 52, 617 (1994).

[10] H. Roper and H. Koch, Starch, 42, 123 (1990).

[11] S. P. A. Novamont, US 5412005 (1995).

[12] A. Rindlav-Westling, M. Stading, P. Gatenholm, Biomacromolecules 3 (2002) .

[13] E. Walenta, H. Fink, P. Weigel, J. Ganster, Macromol.Mater. Engng 286, 8 (2001) .

[14] R. Sharma, and A. R. Ray, J. Master. Sci. – Rev. Macromol. Chem. Phy., C35(2), 327 (1995).

[15] T. Ishigaki, Y. Kawagoshi, M. Ike, M. Fujita, J. Microbiol.Biotechnol. 15 321 (1999).

[16] E. Chiellini, A. Corti, R. Solaro, Biodegradation of poly(vinyl alcohol) based blown films under different environmental conditions,

Polym. Degrad. Stability 64 (2), 305–312 (1999)

[17] N. Tudorachi, C.N. Cascaval, M. Rusu, M. Pruteanu, Testing of polyvinyl alcohol and starch mixtures as biodegradable polymeric materials, Polym. Testing 19 (7), 785–799 (2000).

[18] T. Ikejima, N. Yoshie, Y. Inoue, Influence of tacticity and molecular weight of poly(vinyl alcohol) on crystallization and biodegradation of poly(3-hydroxybutyric acid)/poly(vinyl alcohol) blend films, Polym. Degrad. Stability 66 (2), 263 (1999).

[19] 蔡郢倢，中國文化大學材料與奈米科技研究所碩士論文，(2000).

[20] E. Sashina, G. Janowska, M. Zaborski, A. Vnuchkin, J. Therm. Anal. Calorim. 89 (2007)

[21] E. Franceschi, I. Cascone, D. Nole, J. Therm. Anal. Calorim. 91 119 (2008).

華岡工程學報第 28 期 民國一百年六月 中國文化大學工學院
Hwa Kang Journal of Engineering, Chinese Culture University 28 (2011) 153-158

以添加電磁波吸收粉體之不飽和聚酯樹脂含浸之蜂巢結構對電磁波吸收效益之影響

李貴琪[1*]、鄭傑[1]、游輝仁[2]
[1]中國文化大學紡織工程學系
[2]中國文化大學奈米材料研究所
*Email: lee@staff.pccu.edu.tw

摘要

本研究以兩種不同電磁波吸收粉體，其活性碳粉與氧化鐵粉依照 5 種重量百分濃度 10%、15%、20%、25%、30%分別加入到不飽和聚酯樹脂當中，並將蜂巢結構含浸至其中，待其硬化後，以網路分析儀測量蜂巢結構對電磁波的吸收效果。由本實驗得知，以添加活性碳粉的不飽和聚酯樹脂含浸之蜂巢結構對電磁波吸收效果優於添加氧化鐵粉，且隨著蜂巢結構的孔徑縮小厚度增加對電磁波的吸收效果上升，最佳的吸收材為添加重量百分濃度 30%之活性碳粉，孔徑 3mm，厚度 10mm 之蜂巢結構，吸收值達 18.5dB。

關鍵詞：電磁波、蜂巢結構、不飽和聚酯樹脂

Conductive conical spiral copper composite Board on the effect of electromagnetic wave absorption

K. C. Lee[1*], J. Cheng[1], H. J. Yu[2]
[1]Department of Textile Engineering, Chinese Culture University
[2]Institute of Nanomaterials, Chinese Culture University

Abstract

The absorption of electromagnetic waves in two different active carbon powder and iron oxide powder according to the weight percent concentration of 5 10%, 15%, 20%, 25%, 30% were added to unsaturated polyester resin which will Impregnated honeycomb structure to which, until after hardening, to measure the cellular structure of the network analyzer on the electromagnetic wave absorption. By the experimental results, to add the activated carbon powder of unsaturated polyester resin impregnated honeycomb structure on the absorption of electromagnetic waves better than to add iron oxide powder, and with the honeycomb structure to increase the thickness of the pore narrowing effect on the absorption of electromagnetic waves rise, the best Absorbing material was added 30% of the active carbon, aperture 3mm, 10mm thickness of the honeycomb structure, the absorption values are 18.5dB.

Key words: Electromagnetic wave, Honey-comb structure, Saturated polyester resin

一、前言

在電動力學裡，根據馬克士威方程組，隨著時間變化的電場產生了磁場，反之亦然。因此，一個振盪中的電場會產生振盪的磁場，而一個振盪中的磁場又會產生振盪的電場，這樣子，這些連續不斷同相振盪的電場和磁場共同地形成了電磁波。電磁輻射可以按照頻率分類，從低頻率到高頻率，包括有無線電波、微波、紅外線、可見光、紫外線、X 射線和伽馬射線等等。人眼可接收到的電磁輻射，波長大約在 380 至 780 奈米之間，稱爲可見光。在我們的周圍到處都充斥著電磁波，而也有一些文獻指出電磁波會對人體的中樞神經、免疫系統、心血管系統…等造成影響，甚至會致癌，尤其是現在各種的 3C 品、通訊設備都與我們的生活息息相關，每天都暴露在這些電磁波下面，對我們身體的影響不容小覷。本實驗是利用蜂巢結構對於吸波原理類似電磁波的吸收，具有反射、吸收、繞射等效果，與不飽和聚酯樹脂和電波吸收粉體複合再一起，製作出電磁波吸收材料，可用於建築的填充材料，用來隔絕外界的電磁波，降低電磁波對人體的影響。[1-5]

二、理論

（一）電磁波吸收原理

如圖 1 所示，當電磁波入射到介質時，一部份的電磁波被反射，而絕大部分的電磁波入射到介質當中，經過介質的多次的干涉、繞射、共振吸收，將電磁波以熱能等形式消耗掉，達到吸收的效果，而電磁波的總耗損量 SE(dB)=A(dB)材料內部反射損失+R(dB)材料表面反射損失+M(dB)材料內部吸收損失。[6-8]

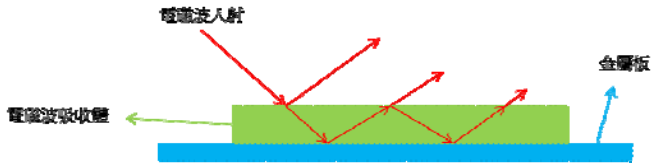


圖 1 電磁波吸收裝置示意圖

三、實驗

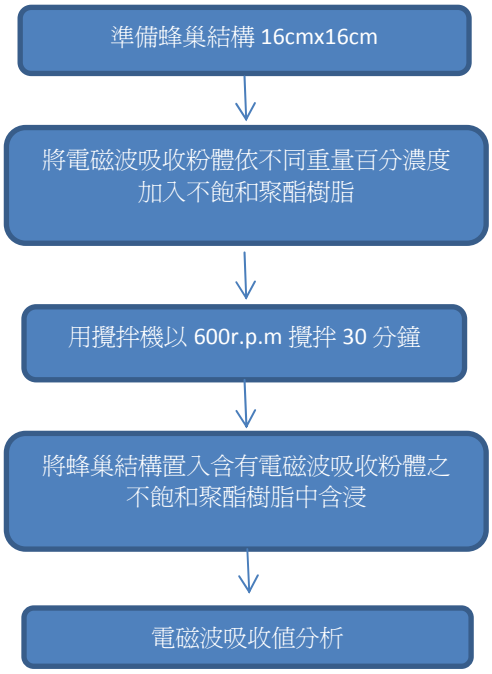
（一）實驗材料

1. 不飽和聚酯樹脂：(順丁烯二酸20%、丙二醇15%、乙二醇15%、二乙二醇15%、苯乙烯單體35%)c.p.s:400-600，(拓南化工)
2. 硬化劑：過氧化丁酮，$C_4H_{10}O_4$，(拓南化工)
3. 氧化鐵(Fe_2O_3)，(分子量159.7、純度:95%、比重:5.24)第一化工
4. 活性碳粉，第一化工
5. 紙蜂巢，紙質130P ，朝澤股份有限公司

（二）實驗儀器

1. 網路分析儀：Agilent Technologies E5071B (300 KHz ~ 8.5 GHz)
2. 號角天線：AH-118(1 GHz ~ 18 GHz)
3. 金屬板：面積15cmX15cm，厚度0.5cm
4. 光纖傳輸線：Agilent Technologies N6314A、N6315A、N3839A(Type-N、50Ω、RF Cables)
5. 攪拌機：型號DC-1S，瓦數100W，轉速80-1150rpm。

（三）實驗流程



（四）實驗測量

實驗測試儀器由網路分析儀、S 參數測試儀、號角天線、金屬板參考面以及代測物所組成。首間先將儀器校正，再將網路分析儀與號角天線連接，號角天線與金屬板呈 45 度角發射與接收電磁波。金屬板中心點距離左右兩邊的號角天線中心點距離分別爲 55cm，而待測物置於金屬板上方，如圖 3 所示。當電磁波入射時一部分被反射，一部分在待測物內部行共振吸收，將電磁波轉化爲熱能耗損，經儀器測得待測物之電磁波吸收值(dB)與反射值(dB)。分貝(dB)是一個表徵相對值的值，純粹的比值，只表示兩個量的相對大小關係，沒有單位，當考慮甲的功率相比於乙功率大或小多少個分貝時，按下面的計算公式：10lg（甲功率/乙功率）。

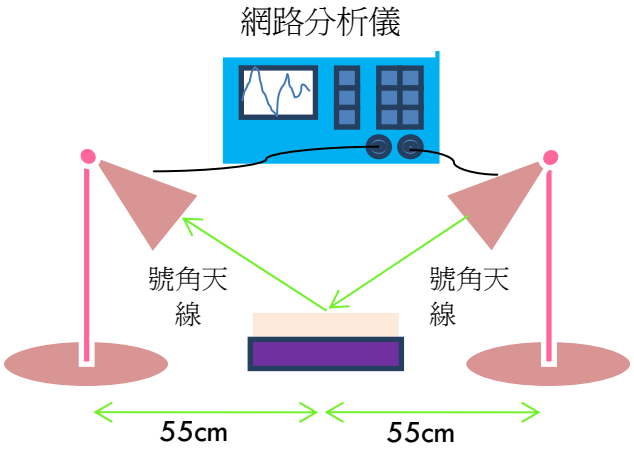


圖 2 實驗設備配置圖

(五) 實驗材料規格

本次實驗所使用之紙蜂巢規格分別爲孔徑3、6、13mm與厚度3、8、10mm之組合，如表1所示。孔徑的大小爲兩對邊之距離，厚度爲試片的高，寬度爲橫向蜂巢結構排列之長度，長度爲縱向蜂巢結構排列之長度，如圖4所示。[9,10,11]

表 1 紙質蜂巢結構樣式規格

試片厚度(mm)	試片孔徑(mm)
3	3、6、13
8	3、6、13
10	3、6、13

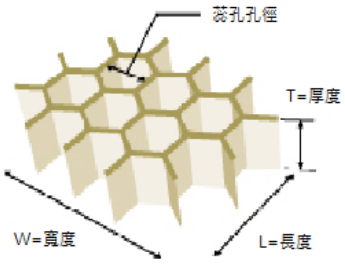


圖 3 紙質蜂巢之規格標示

(六) 實驗材料加工方式

將紙蜂巢裁成16cmX16cm之大小，把氧化鐵粉/活性碳粉依10%、15%、20%、25%、30%的重量百分濃度加入不飽和聚酯樹脂當中，用攪拌機以600r.p.m之速度攪拌30分鐘，再加入重量百分濃度2%的硬化劑過氧化丁酮攪拌5分鐘後將蜂巢結構置入其中含浸，最後將蜂巢結構放入溫度35度之烘箱中24hr使其硬化成形。

表 2 添加不同重量百分濃度之導電材料之蜂巢結構

材料成分	重量百分濃度(wt%)				
活性碳粉	10	15	20	25	30
氧化鐵粉	10	15	20	25	30

四、結果與討論

（一）添加不同重量百分濃度之活性碳粉與氧化鐵粉對電磁波吸收效益之影響

1. 添加10%、15%、20%、25%、30%重量百分濃度活性碳粉經不飽和聚酯樹脂含浸厚度10mm孔徑3mm之蜂巢結構磁吸收值之分析

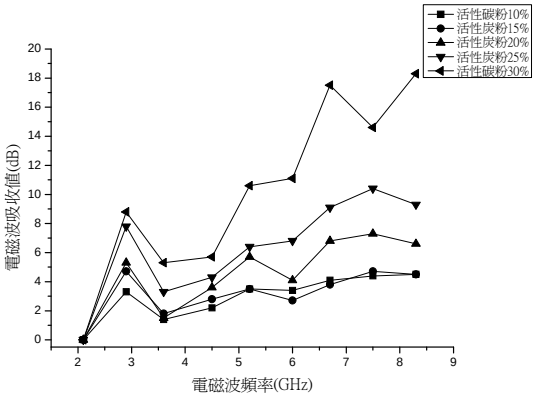


圖 5 添加不同重量百分濃度活性碳粉之不飽和聚酯樹脂含浸厚度 10mm 孔徑 3mm 之蜂巢結構對電磁波吸收效益之影響。

圖 5 橫軸爲電磁波頻率，縱軸爲電磁波之吸收值，由圖 5 可看出電磁波的吸收值隨著活性碳粉添加的重量百分濃度增加有上升的趨勢，而添加至 30%時有最佳的吸收效果 18.5dB。因活性碳粉添加的比例增加，而增加電磁波在其中進行多重反射與共振吸收機會，使能量可以被消耗掉，當添加的比例不足時電磁波易直接穿透介質，使吸收效果不佳。

2. 添加10%、15%、20%、25%、30%重量百分濃度氧化鐵粉經不飽和聚酯樹脂含浸厚度10㎜孔徑3㎜之蜂巢結構對磁波吸收值之分析。

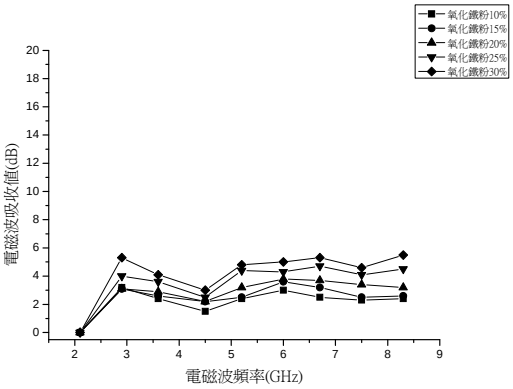


圖 6 添加不同重量百分濃度氧化鐵粉之不飽和聚酯樹脂含浸厚度 10mm 孔徑 3mm 之蜂巢結構對電磁波吸收效益之影響。

圖 6 橫軸爲電磁波頻率，縱軸爲電磁波之吸收值，由圖 6 可看出電磁波的吸收值隨著氧化鐵粉添加的重量百分濃度增加有上升的趨勢，而添加至 30%時有最佳的吸收效果。但因氧化鐵粉之比重較活性碳粉來的大，所以在相同的重量百分濃度下，氧化鐵粉之體積積較活性碳粉來的小小，使電磁波無法有效的在介質當中行多重反射，造成吸收效果不佳。

（二）改變紙蜂巢不同孔徑對電磁波吸收效益之影響。

1. 厚度 10mm 孔徑 3、6、13mm 蜂巢結構以活性碳粉重量百分濃度 30%之不飽和聚酯樹脂含浸對磁波吸收值之分析。

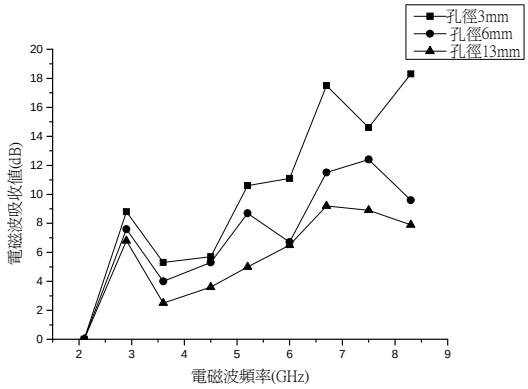


圖 7 厚度 10mm 不同孔徑蜂巢結構以活性碳粉重量百分濃度 30%之不飽和聚酯樹脂含浸對電磁波吸收效益之影響。

由圖 7 可看出電磁波吸收值在孔徑爲 3mm，活性炭粉碳粉重量百分濃度 30%時吸收值最佳。當孔徑較小時，因電磁波與蜂巢結構接觸面積增大，而可使電磁波能有效於蜂巢組織內進行互相干涉及繞射等方式破壞波型，使電磁波總反射率下降，電磁波吸收值提升。

2. 厚度10mm孔徑3、6、13mm蜂巢結構以氧化鐵粉重量百分濃度30%經不飽和聚酯樹脂含浸對磁波吸收值之分析。

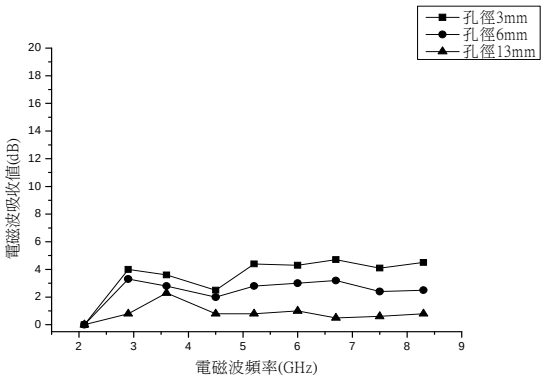


圖 8 厚度 10mm 不同孔徑蜂巢結構以氧化鐵粉重量百分濃度 30%之不飽和聚酯樹脂含浸對電磁波吸收效益之影響。

由圖 8 可看出電磁波吸收值在孔徑爲 3mm，氧化鐵粉重量百分濃度 30%時吸收值最佳。當孔徑較小時，因電磁波與蜂巢結構接觸面積增大，而可使電磁波能有效於蜂巢組織內進行互相干涉及繞射等方式破壞波型，使電磁波總反射率下降，電磁波吸收值提升。

（三） 不同厚度蜂巢結構對電磁波吸收效益之影響。

1． 孔徑3mm厚度3、8、10mm蜂巢結構以活性碳粉重量百分濃度30%之不飽和聚酯樹脂含浸對電磁波吸收值之分析。

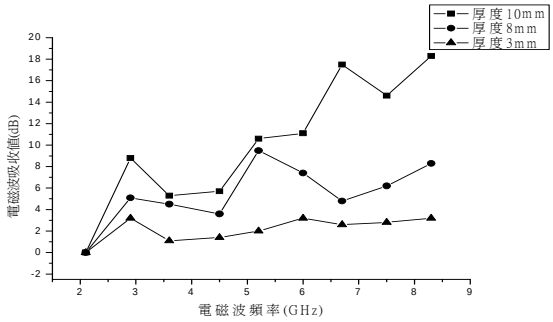


圖 9 孔徑 3mm 不同厚度蜂巢結構以活性碳粉重量百分濃度 30%之不飽和聚酯樹脂含浸對電磁波吸收效益之影響。

圖 9 可看出電磁波吸收值在厚度爲 10mm 吸收效果最佳，由此圖可看出電磁波的吸收值隨厚度增加而增大，因電磁波入射至吸收材當中，厚度增加而電磁波在蜂巢組織內部的反射機會也增加，而使電磁波以干涉及繞射等方式進行消耗。反之當蜂巢結構越薄電磁波容易穿透試片碰觸到金屬板被直接反射，無法在吸收材料當中進行多重反射，而使吸收值下降。

2． 孔徑3mm厚度3、8、10mm蜂巢結構以氧化鐵粉重量百分濃度30%之不飽和聚酯樹脂含浸對電磁波吸收值之分析。

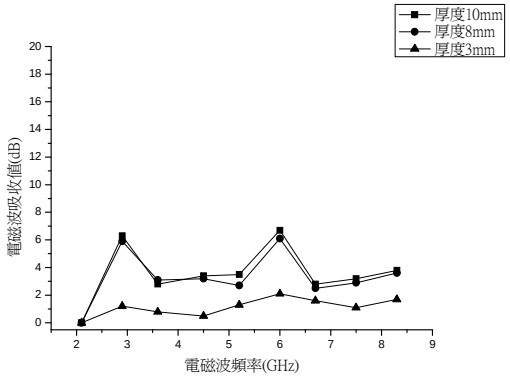


圖 10 孔徑 3mm 不同厚度蜂巢結構以氧化鐵粉重量百分濃度 30%之不飽和聚酯樹脂含浸對電磁波吸收效益之影響。

由圖 10 可看出電磁波吸收值在厚度爲 10mm 時吸收效果最佳。由此圖可看出電磁波的吸收值隨厚度增加而增大，因當厚度爲 3mm 時，大部分的電磁波直接穿透介質，被下方的金屬板反射。而隨著厚度的增加，電磁波較不易直接穿透，而是在介質內部做多重反射，使吸收值上升。

五、結論

（一）隨著電磁波吸收粉體添加的重量百分濃度增加，電磁波吸收值有上升的趨勢，在 30%有最好的吸收效果。

（二）以添加活性炭粉之不飽和聚酯樹脂蜂巢結構吸收效果較添加氧化鐵粉來的好，因氧化鐵粉之比重較活性碳大，在相同的重量百分濃度下，活性碳有較大的比表面積，電磁波入射時可形成

較多之反射與共振吸收。

（三）孔徑小的蜂巢結構比孔徑大的吸收效果好，且隨著厚度增加電磁波吸收值也跟著上升，最好的吸收孔徑爲 3mm，厚度 10mm 的蜂巢結構，達 18.5dB。

參考文獻

[1] 傅秀珍、李貴琪、張偉瑤、林進來，疊層無電極鍍鎳蜂巢結構改變方向之電磁波吸收效益，華岡紡織期刊，第十七卷，第一期，1-13 (2010)

[2] 李貴琪、陳正雄、張書瑤、邱永和，螺旋銅線型態之複合板材對電磁波吸收效益之影響 ，華岡紡織期刊，第十六卷，第一期，97-110 (2009)

[3] 邢麗英、蔣詩才、李斌太、顏悅、何山，隱形材料，新文京開發出版股份有限公司，台北，台灣，13-170(2006)

[4] 童成章，電學及磁學原理，五洲出版社（2002）

[5] 鄭國彬、鄧道興、謝宗燕，電磁波屏蔽用紡織品的最新發展與應用，纖維工業專輯，第十八卷，第二期，110-126(2003)

[6] 游錫揚，纖維複合材料，國章出版社，台北，中華民國，27(1992)

[7] 王炳富、吳恩柏，積層蜂巢夾心結構之撞擊研究，國立台灣大學應用力學研究所錯事論文，1-2(1995)

[8] 周明宏、廖盛焜，不同結構層次不織布於吸音上之研究逢甲大學紡織工程研究所，7-15(2006)

[9] 何書軒，多層吸收體參數與特性之研究，中正理工學院電子工程碩士學位論文(1992)

[10] 賴元泰、王宏文，電磁波吸收材質之研究，中原大學化學系，4-18(2002)

[11] R. E. Collin, Foundation for Microwave Engineering, Mcgraw-Hill,221-237(1999)

華岡工程學報第 28 期 民國一百年六月 中國文化大學工學院
Hwa Kang Journal of Engineering, Chinese Culture University 28 (2011) 159-166

以類神經網路模式估計高分子之玻璃轉化溫度

楊瑞彬 [1]、陳文智 [2*]、賴森茂 [3]

[1] 中國文化大學奈米材料研究所

[2] 中國文化大學化材系

[3] 宜蘭大學化材系

*Email: wcchen@faculty.pccu.edu.tw

摘要

在本研究中使用了一組四個參數的描述因子，包括：$\Sigma MV_{(ter)}R_{(ter)}$、$L_F$、$\Delta X_{SB}$和ΣPEI 來估計 84 個高分子的玻璃轉換溫度，並且分別以多元線性迴歸分析與逆傳遞類神經網路來建造玻璃轉換溫度的估計模型。在本文中建立了以 4-8-1 層架構的最佳類神經網路，經過訓練組的訓練與驗證組的驗證測試，分別得到了均方根誤差為 3.3 K(R^2 =0.9975)與 13.9 K(R^2 =0.9513)的結果。從測試的結果顯示，以類神經網路模式估計高分子的玻璃轉化溫度可以得到非常準確的估計值。

關鍵詞：玻璃轉化溫度、類神經網路

A Neural Network Approach to Estimation of Glass Transition Temperature of Polymers

Ruei-Bin Yang[1]、Wen-Chih Chen[2]*、Sun-Mou Lai[3]

[1]Institute of Nanomaterials, Chinese Culture University

[2]Department of Chemical and Materials Engineering, Chinese Culture University

[3]Department of Chemical and Materials Engineering, National I-Lan University

Abstract

In this article, a set of four-parameter descriptors, $\Sigma MV_{(ter)}R_{(ter)}$, L_F, ΔX_{SB} and ΣPEI were used to correlate with glass transition temperature T_g for 84 polymers. Multiple linear regression analysis and back-propagation artificial neural network (ANN) were used to generate the model. The final optimum neural network with 4–8–1 structure produced a training set root mean square error(RMSE) of 3.3 K (R^2 =0.9975) and a validation set RMSE of 13.9 K (R^2 =0.9513). The results show that the ANN model obtained in this paper is accurate in the estimation of T_g values for polymers.

Key words: glass transition temperature, artificial neural network

一、前言

高分子與其合成材料的物性中，最熟悉和最重要的是玻璃轉換溫度(glass transition temperature，Tg)。玻璃轉換溫度決定了高分子加工和運用的溫度範圍，並且當我們想了解高分子材料的機械與其他性質，諸如熱容量、熱膨脹係數和黏度等，玻璃轉換溫度是預先必須知道的[1]。

對於已開發的高分子其玻璃轉換溫度可經由實驗量測得知，但對於處於設計階段的高分子而言便無法確定。此外，玻璃轉換溫度並非是個精確的點，它比沸點或熔點更加難以確定，因爲它的過渡狀態發生在一個相對較寬廣的溫度範圍[2]。當材料的研究正不斷地推到了極致，可以開發出具有增強物理性質且可用於各種應用的新材料。然而，通過實驗測試這些材料是一個昂貴且耗時的過程[3]。因此，我們需要一個玻璃轉換溫度估計模式來解決上述的問題。

一個好的玻璃轉換溫度估計模式可以幫助我們了解重複單元結構對於玻璃轉換溫度的效應以及指導我們設計高分子，亦可用於預測玻璃轉換溫度或者判斷經由實驗所得的玻璃轉換溫度的準確性 [2]。此外，可協助實驗設計者盡可能縮減候選實驗的高分子，讓實驗集中在可能落入所需物性範圍的高分子，將可節省大量時間和金錢 [3]。

然而，玻璃轉換溫度的估計並非容易，因爲多種變數皆會影響到它的數值，諸如鏈結強度(chain stiffness)，分子鏈間和分子鏈內的移動性(mobility)，構象因素(conformational factors, tacticity)和形態因素(morphological factors, 主要是結晶度 crystallinity）[4]。由於上述複雜的因素，一個穩健且精確的模式很難僅憑幾個簡單的描述因子(descriptor)開發出來。

目前，所研究開發的玻璃轉換溫度估計模式根據 Katrizky[2]的分類，大致可分爲實驗估計法(empirical method)和理論估計法(theoretical estimation) 兩種。實驗估計法根據高分子相關的物理或化學性質來估計玻璃轉換溫度，例如應用官能基可加性（group additive property, GAP）的理論來預測玻璃轉換溫度[1,2]。GAP 的方法有時可以提供相對較好預測關聯性。但僅適用於已開發並且實驗過的化學官能基的高分子[2]。對於官能基所在的位置與玻璃轉換溫度的關聯性也常失效[5]。因爲，GAP 這種方法沒有考慮到相鄰集團或分子鏈結構的影響[1]。理論估計法是根據高分子重複單元的分子描述因子，是目前應用最廣泛較成功的方法。

實驗估計法方面的研究中以 Van Krevelen(1990,2009) [6]的研究最常被引用，其中計算官能基對玻璃轉換溫度的貢獻值，並且用於估計其他物理和機械性能。在其研究中，提出將化學官能基分爲三層級，並且開發了新的官能基貢獻法。在第一層級中包括了簡單的官能基，可描述種類繁多的化合物，第二層級和第三層級包括了多功能的官能基參與結構官能基，提供了沒有包含在第一層級的資訊。Camacho-Zuniga 和 Ruiz-Trevino(2003)[4]開發了一種更爲簡單的官能基貢獻法來預測玻璃轉換溫度，其中以 66 個相對較小的官能基貢獻值來計算玻璃轉換溫度，因而比 Van Krevelen 所提的方法更具彈性。

在理論估計法方面以 Bicerano(1996)[7]所提的方法最廣泛被引用。在他所提的估計式之中結合了結構參數(structural parameters)的加權總和以及高分子溶解性參數(solubility parameters)。所提的迴歸分析模式分析了 320 個高分子，但缺乏額外的數據來驗證這個模式的準確性[8]。

Katritzky 等人(1998) [9]選擇了 88 個高分子，包括了聚乙烯、聚丙烯酸酯、聚苯乙烯、聚醚、聚氧化物等，並且以五參數估計式來計算種類繁多與溫度涵蓋範圍較大的玻璃轉換

溫度。

在此之後，Cao 和 Lin(2003)[2]開發了線性模式來測試 88 個高分子的玻璃轉換溫度，其中使用了五個分子描述因子來作爲此多元線性迴歸分析模式的輸入變數。所用的描述因子重點在描述鏈結強度的影響和分子間的作用力，並獲得了一個合理的相關性。

將類神經網路(artificial neural networks)應用於建立玻璃轉換溫度估計模式方面則有：Joyce 等人(1995)[10]提出應用神經網路建立預測玻璃轉換溫度模式，此模式的建立是基於高分子單體的結構，其中，使用了 360 個高分子單體爲訓練組(training set)。應用此類神經網路模式經由溫度範圍廣泛的測試組(testing set)測試估計玻璃轉換溫度值其均方根(root mean square, RMS)約爲 35K。另一種以類神經網路建立模式是由Sumpter和Noid(1996)[11]提出，採用重複單元的結構來代表高分子。 Mattioni 和 Jurs(2002)[3]開發了以 165 個高分子單體爲基礎，建立了 10 個描述因子的類神經網路模式；以及 251 個高分子重複單元爲基礎，建立了 11 個描述因子的類神經網路模式，兩種模式的測試組 RMSEs 均超過 21K。

Afantitis(2005)[8]開發出了徑向基底函數(radial basis function)的神經網路模式，其中使用了 4 和 3 個描述因子。文中將 84 個高分子分爲訓練組與驗證組，經由驗證組的測試結果顯示，相關性比 Cao 和 Lin[2]的迴歸分析模式更好。證明了玻璃轉換溫度與和高分子結構的關係是非線性的，而不是線性的。

Chen(2008)[5]等人提出了以 28 個描述因子建立了類神經網路模式，其中包括了官能基與理論估計法的描述因子。此模式訓練了 65 個高分子並以 6 個高分子進行測試，訓練組 RMSEs 爲 17K（R^2 爲 0.95）和預測組平均誤差爲 17K（R^2 爲 0.85）。經過驗證該模式是可行的，但是使用了過多的描述因子[1]。

Lin 和 Cao(2009)[1]提出以 4 個量子化學描述因子來建立類神經網路模式，其中以 58 個聚丙烯酸爲訓練組，另以 55 個聚丙烯酸和聚苯乙烯爲驗證組，其 RMSEs 分別爲 11 K 和 17 K，均有良好的估計能力。

正如以上的研究結果所述，建立類神經網路模式能有效地解決玻璃轉換溫度估計問題。因而，本文採用了類神經網路模式並以多元迴歸線性模式爲對照組做一比較。在描述因子則採用 Cao 和 Lin[2]所提出的鏈結強度描述因子與分子間作用力描述因子；並且爲了比較方便採用 Afantitis[8]對訓練組與驗證組數據的分類方式。在本文中以逆傳遞網路(backpropagation network, BPN) 取代了徑向基底函數(radial basis function)的類神經網路模式。因爲徑向基底函數類神經網路模式多用於數據分類，而逆傳遞網路則更適用於函數近似。玻璃轉換溫度估計模式是一非線性函數，因而使用逆傳遞網路將會有較佳的表現。

二、類神經網路

類神經網路可將任意的輸入訊號映射出任意非線性關係的輸出訊號，因此，廣泛地運用在各個不同的領域。而類神經網路是指利用電腦來模仿生物神經網路的處理系統。更精確的說：類神經網路是一種計算系統，包括硬體與軟體，它使用大量簡單的相連人工神經元來模仿生物神經網路的能力。人工神經元是生物神經元的簡單模擬，它從外界環境或其它的人工神經元取得資訊，並加以非常簡單的運算，而後輸出其結果到外界環境或其它人工神經元。

每一個處理單元具有：接受外界或來自其他處理訊息、將此訊號經轉換函數運算即將處理過的訊號經鍵值加權後再輸出等相類似的功能。此轉換函數通常爲非線性，因而其輸出與輸入訊號有著非線性的函數關係。

在類神經網路的應用中，當以多層次向前

網路(multilayer forward network algorithm)的架構是最受歡迎的。而在此架構下的學習法則中，以逆傳遞法則(backpropagation algorithm[12])最廣爲使用。此即所謂的監督式(supervised)學習策略，其特點是在調整類神經網路鍵值時，相對應每一組輸入值皆需有一適當的輸出值當作學習的目標值。

三、結果與討論

在本文中引用了 Cao 和 Lin[2]的 88 個高分子數據，並且依照 Afantitis[8]所提的方式將此 88 個高分子分成兩組，其中一組有 44 個高分子爲訓練組作爲訓練之用，而另一組有 40 個高分子爲驗證組作爲驗證之用，剩下的 4 個高分子爲出象值，沒被選取。44 個高分子訓練組和 40 個高分子驗證組其玻璃轉換溫度實驗值與模式估計值分別列於表 1 和表 2。

本研究中所使用的 84 個高分子的結構參數是引用了 Cao 和 Lin[2]的資料，在此文獻中定義了二個鏈結強度描述因子與三個分子間作用力的描述因子，其中 $\Sigma MV_{(ter)}R_{(ter)}$ (volume of terminal group) 表示側鏈上不能自由旋轉部分的體積；L_F (free length) 表示側鏈上可以自由旋轉的鍵結總數；ΔX_{SB} (electronegativity discrepancy)與重複單元的極性有關；ΣPEI (polarizability effect)是側鏈的偶極。在描述因子的部分，我們用了兩套描述因子，第一套(set 1)描述因子包括：$\Sigma MV_{(ter)}R_{(ter)}$、$L_F$、$\Delta X_{SB}$和$\Sigma PEI$；而第二套(set 2)描述因子包括：$\Sigma MV_{(ter)}R_{(ter)}$、$\Delta X_{SB}$和$\Sigma PEI$，這四種描述因子非常的有效，因爲他們計算簡單、快速、物理意義清楚。

在本文中採用了多層次向前網路的架構並使用逆傳遞法則爲學習法則。無論架構或學習法則皆以 Matlab 程式指令建立類神經網路模式。爲了便利比較，還使用了多元線性迴歸模式爲對照組。這兩種模式皆採用 44 個高分子在訓練組進行了訓練與另外獨立的 40 個高分子進行了測試。

這兩套描述因子對玻璃轉換溫度的多元線性迴歸模式其計算公式分別如下：

Set 1 ：

$$Tg = 0.3618\,\Sigma MV_{(ter)}R_{(ter)} - 10.3256\,L_F + 159.8081\,\Delta X_{SB} + 9.3865\,\Sigma PEI + 206.2196$$

Set 2 ：

$$Tg = 0.4400\,\Sigma MV_{(ter)}R_{(ter)} + 167.3005\,\Delta X_{SB} + 2.8802\,\Sigma PEI + 180.8095$$

以 44 個高分子訓練組數據所迴歸或訓練後，分別建立了多元線性迴歸分析與類神經網路的玻璃轉換溫度估計模式，其詳細的訓練組估計值列於表 1；在建立估計模式之後，以 40 個高分子驗證組測試此玻璃轉換溫度估計模式，其測試之估計值列於表 2。經過訓練組的訓練與驗證組的驗證測試，分別得到了均方根誤差爲 3.3 K(R^2 =0.9975)與 13.9 K(R^2 =0.9513)的結果。從測試的結果顯示，以類神經網路模式估計高分子的玻璃轉化溫度可以得到非常準確的估計值。

圖 1 至圖 4 是用玻璃轉換溫度實驗值與驗證組的估計值所做的圖，其估計值是分別以多元線性迴歸分析和類神經網路的玻璃轉換溫度模式估計而得。其中圖 1 是 40 個高分子的實驗值對應驗證組在以 set 1 描述因子之下利用類神經網路估計出的玻璃轉換溫度所做的圖；圖 2 則是 40 個高分子的實驗值對應驗證組在以 set 2 描述因子之下利用類神經網路估計出的玻璃轉換溫度所做的圖；圖 3 則是高分子的實驗值對應驗證組在以 set 1 描述因子之下利用多元線性迴歸分析模式估計出的玻璃轉換溫度所做的圖；圖 4 則是高分子的實驗值對應驗證組在以 set 2 描述因子之下利用多元

線性迴歸分析模式估計出的玻璃轉換溫度所做的圖。

在以上所建構的類神經網路模式採用了 4[3]-8-1 層架構，在隱藏層中使用了 8 個神經元已足以表示描述因子與玻璃轉化溫度之間的關係。較諸 Afantitis[8]的研究，其第一、第二套描述因子分別使用了 34 個與 25 個神經元，驗證了本文所提的類神經網路架構較能關聯描述因子與玻璃轉換溫度之間的關係。

表 3 爲本文所提的類神經網路模式與 Afantitis[8]研究所提的模式在估計玻璃轉換溫度上其均方根誤差的比較。表 3 的第一、二列爲訓練組的均方根誤差；第三、四列爲驗證組的均方根誤差。從表 3 可得知本文所提的類神經網路模式所估計的玻璃轉換溫度其均方根誤差明顯較小，甚至差到 5K 之多。

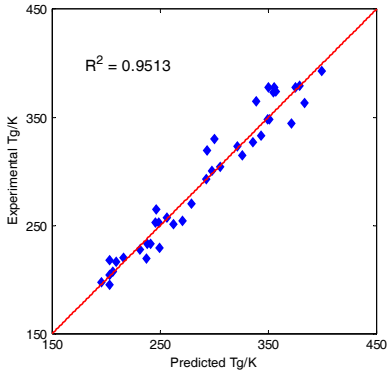


圖 1. 40 個高分子的實驗值對應驗證組(set 1 ANN)

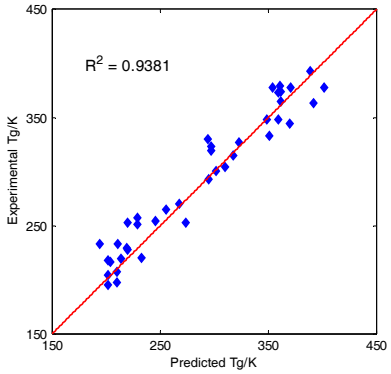


圖 2. 40 個高分子的實驗值對應驗證組(set 2 ANN)

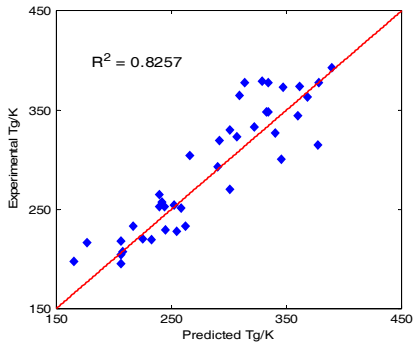


圖 3. 40 個高分子的實驗值對應驗證組(set 1 linear)

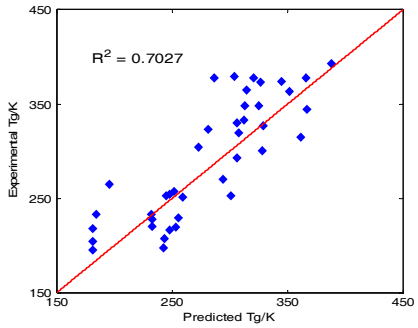


圖 4. 40 個高分子的實驗值對應驗證組(set 2 linear)

四、結論

從本研究的結果顯示，以類神經網路模式估計一組 84 個高分子的玻璃轉化溫度可以得到非常準確的估計值，驗證了以類神經網路建立估計玻璃轉化溫度的可行性。我們發現，使用類神經網路來建構模式，可以進一步減少描述因子的數量，從四個乃至三個仍可產生一個可靠的模式。以逆傳遞法則訓練之類神經網路模式，顯示了較少的計算時間和良好的預測準度。因此，本研究所提供的方法可替代成本高昂和耗時的實驗測定玻璃轉換溫度，並亦可取代實驗估計法來估計玻璃轉換溫度。

表 1 訓練組

Name	Tg(K),exp	Tg(K),pred (set 1 ANN), R^2=0.9975	Tg(K),pred (set 2 ANN), R^2=0.9914	Tg(K),pred (set 1 linear), R^2=0.9395	Tg(K),pred (set 2 linear), R^2=0.7978
Poly(ethylene)	195	198.5280	197.0221	206.2196	180.8095
Poly(butylethylene)	220	217.6606	224.5131	235.0880	232.7234
Poly(cyclohexylethylene)	363	362.1441	363.4570	344.5522	325.3881
Poly(methyl acrylate)	281	281.0615	285.2967	275.8419	266.8483
Poly(sec-butyl acrylate)	253	257.0991	241.4841	253.2279	253.0134
Poly(vinyl chloride)	348	348.2716	347.8190	342.3223	313.8502
Poly(vinyl acetate)	301	300.5289	299.2416	301.0449	292.5962
Poly(2-chrolostyrene)	392	392.8401	392.6738	365.8241	348.3647
Poly(4-chrolostyrene)	389	392.2884	390.5888	365.7712	348.7431
Poly(3-methylstyrene)	374	368.4106	373.5163	364.5061	348.3007
Poly(4-fluorostyrene)	379	379.5297	377.1628	362.0750	343.8917
Poly(1-pentene)	220	223.5197	214.5125	244.9133	232.5698
Poly(tert-butyl acrylate)	315	310.0795	317.0918	320.2246	321.7481
Poly(vinyl hexyl ether)	209	204.0054	206.1916	207.1568	243.3674
Poly(1,1-dichloroethylene)	256	255.5851	256.3983	247.1448	193.3673
Poly(a-methylstyrene)	409	408.1026	408.2708	401.2603	376.0342
Poly(ethyl methylacrylate)	324	323.6431	324.4747	316.7169	312.5857
Poly(ethyl chloroacrylate)	366	366.1114	360.3195	369.4065	365.7961
Poly(tert-butyl methylacrylate)	380	382.8576	381.2159	392.4870	392.3880
Poly(chlorotrifluoroethylene)	373	372.9710	374.2961	370.0524	335.4808
Poly(oxyethylene)	206	198.5280	197.0221	206.2196	180.8095
Poly(oxytetramethylene)	190	198.5280	197.0221	206.2196	180.8095
Poly(vinyl-n-octyl ether)	194	196.8278	202.3068	185.9835	242.6750
Poly(oxyoctamethylene)	203	198.5280	197.0221	206.2196	180.8095
Poly(vinyl-n-pentyl ether)	207	210.0463	210.1232	217.8718	243.8890
Poly(n-octyl acrylate)	208	207.1809	212.4463	187.1057	248.5530
Poly(n-heptyl acrylate)	213	212.8155	214.6049	198.0509	249.2517
Poly(n-hexyl acrylate)	216	217.4065	217.5792	209.1607	250.1309
Poly(vinyl-n-butyl ether)	221	220.6831	217.0078	228.7844	244.6604
Poly(vinylisobutyl ether)	251	254.8396	252.9722	289.1731	292.8054
Poly(pentafluoroethyl ethylene)	314	314.4936	314.5088	333.3890	324.1794
Poly(3,3-dimethylbutylmethacrylate)	318	316.2883	317.3907	365.0232	385.2950
Poly(vinyl trifluoroacetate)	319	319.1657	317.5460	304.0879	311.4857
Poly(n-butyl a-chloroacrylate)	330	329.8595	341.6655	350.1260	366.8435
Poly(heptafluoropropyl ethylene)	331	330.2255	331.3451	322.2809	322.6857
Poly(5-methyl-1-hexene)	259	262.6551	279.7865	285.4618	280.9637
Poly(n-hexyl methacrylate)	268	268.0429	270.8431	266.4122	302.5738
Poly[p-(n-butyl)styrene]	279	275.8443	279.7884	250.2988	247.1830
Poly(2-methoxyethyl methacrylate)	293	292.6893	294.1891	278.0401	307.6814
Poly(4-methyl-1-pentene)	302	294.2768	281.1316	295.7218	280.9435
Poly(n-propyl methacrylate)	306	307.3234	302.2598	302.5629	308.3479
Poly(3-phenyl-1-propene)	333	339.9362	330.8537	319.1862	309.1619
Poly(sec-butyl a-chloroacrylate)	347	346.4394	339.4945	360.7037	366.8948
Poly(vinyl acetal)	355	352.2529	354.6087	356.0809	353.4998

表 2 驗證組

Name	Tg(K),exp	Tg(K),pred (set 1 ANN), R^2= 0.9513	Tg(K),pred (set 2 ANN), R^2= 0.9381	Tg(K),pred (set 1 linear), R^2= 0.8257	Tg(K),pred (set 2 linear), R^2= 0.7027
Poly(ethylethylene)	228	231.3592	219.5876	254.3041	232.2830
Poly(cyclopentylethylene)	348	349.6040	348.4152	333.7511	312.7652
Poly(acrylic acid)	379	378.9355	360.2654	329.0582	303.9071
Poly(ethyl acrylate)	251	261.7473	228.8577	258.6334	259.2725
Poly(acrylonitrile)	378	375.1701	401.2659	313.8273	286.6457
Poly(styrene)	373	354.6597	359.2963	346.6972	326.8529
Poly(3-chrolostyrene)	363	383.2879	391.5425	368.3334	351.7332
Poly(4-methylstyrene)	374	356.6081	361.5144	361.6028	344.9429
Poly(propylene)	233	237.7135	210.8476	262.2849	231.5635
Poly(ethoxyethylene)	254	270.3576	245.3178	252.0126	247.9583
Poly(n-butyl acrylate)	219	237.1538	213.3532	232.2894	252.9253
Poly(1,1-difluoroethylene)	233	240.6951	194.2087	216.6761	184.0181
Poly(methyl methylacrylate)	378	350.2292	370.1120	334.3568	320.6132
Poly(isopropyl methylacrylate)	327	335.9451	322.5043	340.3374	328.9959
Poly(2-chloroethyl methylacrylate)	365	338.4086	361.6864	308.9602	314.1452
Poly(phenyl methylacrylate)	393	399.0597	388.9529	389.6568	387.7157
Poly(oxymethylene)	218	202.7102	201.3488	206.2196	180.8095
Poly(oxytrimethylene)	195	202.7102	201.3488	206.2196	180.8095
Poly(vinyl-n-decyl ether)	197	195.3660	209.7500	165.0143	242.2463
Poly(oxyhexamethylene)	204	202.7102	201.3488	206.2196	180.8095
Poly(vinyl-2-ethylhexyl ether)	207	206.2856	209.9327	207.2576	243.1027
Poly(n-octyl methylacrylate)	253	245.6025	273.6425	244.1344	300.7620
Poly(n-nonyl acrylate)	216	209.4485	203.4875	176.2996	248.0035
Poly(1-heptene)	220	216.1580	232.9399	225.0721	232.8184
Poly(n-propyl acrylate)	229	249.0765	218.7679	244.7671	255.3359
Poly(vinyl-sec-butyl ether)	253	248.5753	219.4471	239.7342	244.8519
Poly(2,3,3,3-tetrafluoropropylene)	315	325.9687	317.1685	376.8973	360.9888
Poly(N-butyl acrylamide)	319	293.4212	297.1671	292.0414	307.4718
Poly(3-methyl-1-butene)	323	321.3173	297.0789	306.5223	281.0892
Poly(sec-butyl methacrylate)	330	300.2713	294.2220	300.4743	305.7912
Poly(3-pentyl acrylate)	257	256.0333	228.5519	241.6149	251.4357
Poly(oxy-2,2-dichloromethyltrimethylene)	265	245.9568	255.0206	239.6221	195.2090
Poly(vinyl isopropyl ether)	270	279.0823	267.1757	300.6476	294.0567
Poly(n-butyl methacrylate)	293	292.5357	294.7387	289.8605	305.7027
Poly(3,3,3-trifluoropropylene)	300	298.0579	301.8715	345.6725	327.9615
Poly(vinyl chloroacetate)	304	304.9782	310.1731	265.9878	272.7908
Poly(3-cyclopentyl-1-propene)	333	343.1399	350.6515	321.9086	312.2997
Poly(n-propyl a-chloroacrylate)	344	370.9790	369.6855	359.9509	366.4770
Poly(3-cyclohexyl-1-propene)	348	350.5003	358.8654	332.4891	324.8549
Poly(vinyl formal)	378	355.0272	354.0594	377.9207	366.2456

表三 各種模式之均方根誤差對照表

	ANN set 1	ANN set 2	Linear set 1	Linear set 2
RMSE tr	3.3	6.1	16.2	29.6
RMSE tr*	3.7	11.4	-	-
RMSE val	13.9	17.6	27.4	35.8
RMSE val*	18.9	20.5	-	-

*Calculated form ref. [8]

參考資料

1. Liu, W. and Cao, C., Artificial neural network prediction of glass transition temperature of polymers. *Colloid Polym. Sci.*, **287,** 811(2009)
2. Cao, C. and Lin, Y., Correlation between the glass transition temperatures and repeating unit structure for high molecular weight polymers. *J. Chem. Inf. Model.*,**43**, 643(2003)
3. Mattioni, B. E. and Jurs, C. P., Prediction of Glass Transition Temperatures from Monomer and Repeat Unit Structure Using Computational Neural Networks. *J. Chem. Inf. Comput. Sci*.**, 42**, 232(2002)
4. Camacho-Zuniga, C. and Ruiz-Trevino F. A., A new group contribution scheme to estimate the glass transition temperature for polymers and diluents. *Ind. Eng. Chem . Res.*, **42,** 1530(2003).
5. Chen, Xi, Sztandera, L. and Cartwright, M. H., A neural network approach to prediction of glass transition temperature of polymers. *Int. J. Intell. Syst.*, **23**, 22(2008)
6. Van Krevelen, D. W., Properties of Polymers. Their Correlation with Chemical Structure; Their Numerical Estimation and Prediction from Additive Group Contributions; Elsevier: Amsterdam, The Netherlands, (1990)
7. Bicerano, J., ‘‘Prediction of Polymer Properties.’’ Marcel Dekker *Inc.: New York*, (1996)
8. Afantitis, A., Afantitis, G., Makridima, K., Alexandridis, A., Sarimveis, H. and Iglessi-Markopoulou, O., Prediction of high weight polymers glass transition temperature using RBF neural networks *Journal of Molecular Structure*: THEOCHEM **716** 193(2005)
9. Katritzky, A. R., Katritzky, Sild, S. and Lobanov, V., M. Karelson, Quantitative Structure-Property Relationship (QSPR) Correlation of Glass Transition Temperatures of High Molecular Weight Polymers. J. Chem. *Inf. Comput. Sci.*, **38**, 300(1998).
10. Joyce, S. J., Osguthorpe, D. J., Padgett, J. A. and Price, G. J. Neural Network Prediction of Glass-transition Temperatures from Monomer Structure. *J. Chem. Soc., Faraday Trans.* **1995**, *91*, 2491-2496.
11. Sumpter, B. G. and Noid, D. W. On the Use of Computational Neural Networks for the Prediction of Polymer Properties. *J. Thermal Anal.* **1996**, *46*, 833-851.
12. Rumelhart, D. E., Hinton, G. E. and Williams, R. J., ‘‘Learning Internal Representations by Error Propagation,’’ in D. E. Rumelhart and J. L. McClelland (Eds.), *Parallel Distributed Processing: Explorations in the Microstructures of Cognition. Vol.1: Foundations*, 318-362, MIT Press, Cambridge, MA (1986).