

精儀中心真空技術之研究發展

Development of Vacuum Technology at PIDC

蕭健男

Chien Nan Hsiao

近年來我國真空科技伴隨著高科技產業的崛起而迅速發展，躬逢其盛的國科會精密儀器發展中心(以下簡稱精儀中心)在其中扮演著極重要的推動角色，適值三十週年慶前夕，本文特就精儀中心在真空設備技術、薄膜製程與檢測技術及真空檢校技術等領域的發展歷程作一回顧，並展望未來作一前景規劃。

The development of vacuum technology has been accelerated with the growing semiconductor-related industries in Taiwan. Precision Instrument Development Center (PIDC) plays a very important role in this progress. In the event of the 30th anniversary of PIDC, we will review our accomplishment in the system of vacuum equipments, pressure measurements, calibration, thin film processes, inspections, as well as the prospect of vacuum technology in PIDC.

一、前言

真空科技為現代高科技產業之基礎，舉凡半導體、光電及奈米科技等製程設備皆與真空技術關係密切。民國六十八年鑑於當時國內真空及鍍膜工業正處於萌芽階段，極需有一研究機構能專門從事相關技術之研發及推廣工作，以協助業界迅速成長茁壯，國科會精密儀器發展中心(以下簡稱精儀中心)遂結合原有之真空元件研發人力正式成立真空部門，全力進行真空技術的研發，並依實際需求而擬定研製真空設備、開發製程技術、建立檢校能量、培訓專業人才及對外提供技術服務等五項為主要任務。為求研發業務能順利推展，陸續成立真空鍍膜實驗室、真空檢校實驗室、真空幫浦實驗室、真空

設備修護室、薄膜檢測實驗室，構成今日之真空技術研究室，成為我國在真空科技領域中發展最完整的機構，多年來並分別以技術移轉、技術輔導與人才培訓等方式協助國內真空產業提升技術；以合作研究的方式協助我國大學院校從事尖端學術研究；以國際人才培訓與國際合作等管道促進國際化腳步，加強國際學術與科技之交流。

二、歷年之研發成果

精儀中心真空部門在成立初期，基於當時國內真空與鍍膜工業都還處於草創時期的環境考量，遂以硬體設備之研製為主，製程和檢測等技術的建立為輔，期能配合國內真空和鍍膜相關工業之成長脈

動。回顧精儀中心在真空技術之發展歷程大致可劃分為早期(民國六十六年至八十三年)與近期(自民國八十四年起迄今)兩個階段，不同階段之重要研發成果概述如下。

1. 早期發展之重要成果⁽¹⁾

早期發展重點主要集中在真空相關元件與計量儀器研製、真空鍍膜機研製、真空鍍膜製程開發及真空標準檢校技術開發等四大領域，具體項目分述如下。

(1) 真空關鍵元件與計量儀器之研製

真空技術向為精儀中心賴以成長精進的核心技術之一，自民國六十六年起即已進行真空管件及真空計之研製，真空部門成立後更有計畫地將硬體相關技術由小而大逐步地建立。此段期間重要成果包括：高真空關鍵元件之製造、油擴散幫浦研製、金屬與玻璃接合元件研製、超高真空關鍵組件製造與熱導式、熱耦式、冷陰極式及熱離子式等真空計之研製，另外，尚有氦氣測漏儀之開發、四極質譜儀之質譜管研製及水三相點囊製作等，其中真空計並於民國七十三年成功地技術移轉予國內廠商生產行銷，而水三相點囊則受工業技術研究院量測技術發展中心委託製造，並移轉作為各式溫度計校正之標準件。

(2) 真空系統與鍍膜設備之研製

自民國六十九年起，基於國內真空設備生產技術尚處於萌芽階段，各項先進技術取得困難，故著手開發真空系統之設計、製造與組裝等技術，期能協助我國真空產業發展。重要成果包括：熱阻式蒸鍍機研製、電子槍蒸鍍機組裝、S-gun 磁控濺鍍機組裝、平面磁控濺鍍機研製、離子束濺鍍機組裝、超高真空系統研製、光束線前端區系統研製及製程程序控制器、溫度控制器、輝光放電控制器、石英振盪膜厚監控器與鍍膜源電源供應器等次系統之研製，其中熱阻式蒸鍍機提供國立清華大學作為教學研究使用，自製之超高真空系統則於民國七十四年成為國內達到 10^{-10} Torr 以下極高真空領域之首

例，而光束線前端區系統則於民國七十七年接受同步輻射中心委託製造，使用於同步輻射儲存環中。

(3) 真空鍍膜製程與檢測技術之開發

從民國七十年起，由傳統熱阻式蒸鍍技術開始發展，陸續展開各種薄膜元件的製備與性能檢測技術的開發。重要研製元件包括：金屬反射膜與電極、抗反射膜與雷射用高反射膜、分光膜與濾光膜、塑膠鏡片鍍膜與硬質膜等。重要的製程技術包括熱阻式蒸鍍、電子槍蒸鍍、磁控濺鍍、離子披覆輔助蒸鍍及冷陰極電弧鍍膜等製鍍技術。其中並先後建立了分光光譜儀、橢圓偏光儀、微硬度計、光干涉測厚儀、附著力計、探針式測厚儀、刮傷測試儀、光譜式橢圓偏光儀、臨場式橢圓偏光儀等重要薄膜特性檢測儀器及量測技術，這些研發成果主要透過委製、委測等技術服務方式提供給學術界與產業界，每年均達 200 案以上。

2. 近期發展之重要成果

隨著半導體產業的蓬勃發展，此時對真空製程相關設備的規格需求在於強調高可靠度與高精密度，這使得我國真空工業技術水準無法銜接，相關設備幾乎全部仰賴進口。在此時空背景下，精儀中心遂依國科會之政策指示與華美半導體協會專家學者的建議，積極投入半導體產業用真空幫浦的技術研發與製程設備維修人才的培育，並與日本 Kashiyama 公司合作研製新世代螺旋式渦輪分子幫浦，同時亦逐步研製包括真空幫浦抽氣速率檢測系統、高真空微流量校正系統與真空性能檢測系統等真空設備性能的驗證儀器，期能協助國內業界快速建立自主性的技術。

除此之外，為求落實技術植根理想及導入最新真空科技，多年來除了與國內各大學、研究機構及產業界密切合作外，並且不斷派員遠赴歐、美、日各國之研究單位及著名廠商，如美國國家標準與技術研究院、Varian 公司、Balzers 公司及日本旭精機公司作短、中、長期的技術研習或合作研究，返國後則再投入真空設備之研發、維修及人才培訓等工作，為今日蓬勃的真空相關產業提供了重要的貢



圖 1. 螺旋型乾式機械幫浦。

獻。在此同時，由於國防訓儲人員、國內大學研究生參與及國際科技人才培訓等辦法的實施，而導入大量優秀研究人力加入真空研究團隊，使得在學術研究方面亦有大幅的成長，在不到十年間發表於中外期刊與研討會之論文共九十餘篇，取得中外專利近二十項。其他的研發主題亦逐步跨入各種先進鍍膜設備與製程技術之開發、擴展真空設備維修能量及建立薄膜元件特性檢測能力等工作。

細數這段期間的重要研發與技術服務成果，大致可以分為真空與鍍膜儀器設備研製、真空鍍膜製程研發及真空技術服務等三大類，內容概述如下：

(1) 真空與鍍膜儀器設備之研製

為協助我國真空工業提升技術能力，以爭取半導體產業所需真空相關儀器設備之商機，精儀中心



圖 2. 螺旋型分子拖曳式高真空幫浦。

自民國八十四年起積極投入人力進行一系列半導體相關儀器設備之研發。此段期間重要成果包括：螺旋型乾式機械幫浦 (如圖 1)、螺旋型分子拖曳式高真空幫浦 (如圖 2)、真空幫浦性能檢測系統、孔口法定容式微流量校正系統 (如圖 3) 等真空儀器設備之研製。其中螺旋型分子拖曳式高真空幫浦是於民國八十五年藉由與日本 Kashiya 公司締約，以國際合作開發方式研製適用於 12 吋晶圓化學氣相沉積與蝕刻製程的新一世代高真空乾式真空幫浦。其中精儀中心負責幫浦構形之模擬分析、機構修正及組裝完成後之性能測試，Kashiya 公司則負責幫浦機構初步設計、製造及組裝，由此培植了自主研發設計的能力⁽²⁾，利用計算流體力學⁽³⁾ (CFD) 及直接模擬蒙地卡羅法⁽⁴⁾ (DSMC) 兩種方法分別模擬真空幫浦在低、高真空之抽氣性能，藉以驗證新設計構形之可行性。此一螺旋型分子拖曳式高真空幫浦 TBP-08 開發完成後經測試，最大抽氣速率 700 L/s，終極壓力 3.5×10^{-8} Torr，最大壓縮比大於 10^6 ，最大容許進氣口壓力為 5 Torr，具有同級品中最佳性能表現。此幫浦已於民國八十九年正式生產，並獲有中、美、德、法等多國專利⁽⁵⁻⁸⁾。真空幫浦性能檢測系統與孔口法定容式微流量校正系統均為我國首套自行設計開發用於檢測與校正各項真空性能參數與真空儀器之精密儀器系統，對提升我國真空科技水準有極大的助益。

在鍍膜系統製作方面，則有多靶式射頻平行蒸鍍系統 (如圖 4) 連續式二氧化碳雷射平行蒸鍍系統

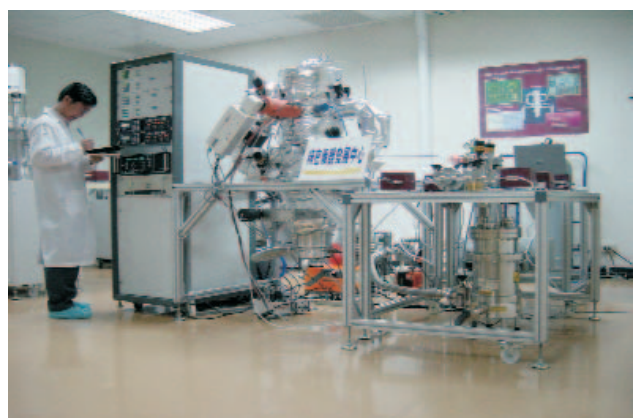


圖 3. 孔口法定容式微流量校正系統。

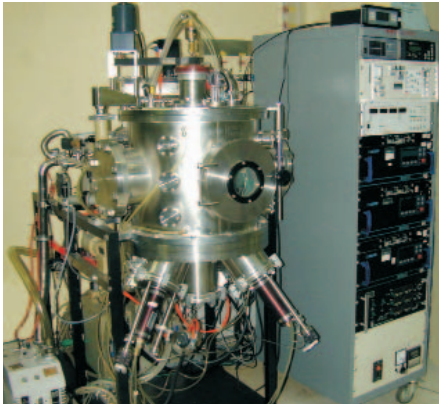


圖 4. 多靶式射頻平行濺鍍系統。

與超高真空化學束磊晶系統(如圖 5)之研製。此外，因應衛星光電遙測系統研發計畫之需要，從民國八十九年起積極投入符合太空級測試規格之大型光學薄膜元件製鍍技術之開發，先後建置大口徑光學元件用離子束輔助電子槍蒸鍍系統(如圖 6)及設計組配了大氣環境模擬測試系統與太空環境模擬測試系統。在光學薄膜元件特性檢測儀器研製方面，則有自動化橢圓偏光儀及與國立中央大學光電研究所合作開發之干涉相移式薄膜應力測量儀^(9,10)(如圖 7)。

(2) 真空鍍膜製程之研發

此段時期由於研究人力不斷投入，在此領域之學術研究比重逐漸增加，與各大學院校合作研究關係也日益密切，重要研究成果包括：與國立清華大學電機工程研究所合作之離子披覆平行蒸鍍 TiO_2

與 SiO_2 混合膜製程研究⁽¹¹⁾；與國立中央大學光電科學研究所合作之冷陰極電弧蒸鍍 TiO_2 、類鑽石膜製程研究⁽¹²⁾；與國立交通大學電子工程研究所合作之多晶矽薄膜電晶體離子披覆 SiO_2 絕緣膜製程研究⁽¹³⁾；與國立交通大學電子工程研究所、中原大學電機工程研究所合作 DRAM 電容元件高介電常數 $(\text{Ba,Sr})\text{TiO}_3$ 薄膜多靶平行濺鍍製程研究，與國立中央大學光電科學研究所、崑山科技大學電機工程研究所合作 Al_2O_3 、 HfO_2 等紫外光薄膜元件之離子輔助多靶濺鍍製研究，與國立交通大學電子工程研究所合作 $(\text{Ba,Sr})\text{TiO}_3$ 薄膜微熱偵測器製程研究^(14,15)，與國立交通大學電子物理研究所合作開發多波段窄帶



圖 6. 大型離子束輔助蒸鍍系統。



圖 5. 超高真空化學束磊晶系統。



圖 7. 干涉相移式薄膜應力測量儀。



圖 8. 多腔式有機發光二極體氣相沉積系統。

濾光膜元件製程研究等。此外，尚與國立清華大學工程與科學研究所合作開發光譜監控電漿製程均勻性技術，並獲得多項專利^(16,17)。

(3) 真空技術之服務

對學術界與產業界提供真空領域之維修、製造、檢測、技術諮詢、技術輔導、技術移轉與人才培訓等服務向來是真空部門的重點任務，每年平均皆有 200 案以上，重要成果包括：與儀器維修課合力籌建半導體設備維修實驗室與舉辦半導體設備維修技術訓練班、承製國立清華大學化學研究所委託之化學氣相沉積系統、國立清華大學材料科學工程研究所委託之多腔式有機發光二極體氣相沉積系統⁽¹⁸⁾ (如圖 8)、國立中興大學化學系委託之三部五爪式真空熱導管等。其間為加強真空維修技術服務能量，將與國立清華大學材料科學工程研究所合作開發真空設備故障專家診斷系統，並自行設計研製多功能真空設備性能檢測系統 (如圖 9)。此外，亦透過技術輔導與人力培訓方式於民國八十六年協助東元電機公司建立電視影像管之高真空抽氣系統製造技術，民國八十九年協助高鋒工業公司建立乾式真空幫浦製造與組裝技術。並與編輯出版課合力邀集國內專家學者撰寫「真空技術與應用」一書，於民國九十年出版。

三、未來研發主題之規劃

衡諸當前國內產業現況與國際發展趨勢，配合精儀中心兩大研發主軸-衛星光電遙測系統與微奈

米元件系統之開發，未來研究重點將朝向太空級規格光學薄膜及先導性薄膜元件製程技術之發展，研發項目涵蓋設備系統之設計製造、製程與元件研發、以及性能檢測儀器與量測技術開發，以構建完整體系。此外，為因應精儀中心未來法人化的轉型需求，將積極整合各項成熟技術，以技術移轉為目標，以更有效協助我國真空產業發展。未來主要發展內容概述如下。

1. 太空級規格薄膜元件技術開發與精密光學鍍膜系統技術建立

精儀中心依據國家科技發展政策投入遙測系統技術的研發，這是基於遙測技術可迅速地偵測大區域面積及無法接近目標之遠距離監測，應用領域非常廣泛。但這門涉及多重領域之科技在先進國家往往被列為管制輸出項目取得不易，因此必須自行建立相關技術。本此目標利用多年來在光電技術之研發經驗，投入發展光電遙測影像系統，真空部門則運用既有在真空鍍膜系統與製程技術能力，協助研發遙測系統所需之大型反射鏡與各波段精密濾光鏡薄膜之研製。

針對精儀中心發展光電遙測系統 300 mm 以上直徑非球面主反射鏡之銀反射膜及各式透鏡抗反射膜，已運用現有大型光學薄膜鍍膜系統陸續完成研



圖 9. 真空設備性能檢測系統。

製。然而考量不同波段之各式精密濾光鏡對於膜層均勻度、薄膜厚度及光學品質的製鍍規格需求，將再籌建一套高精密且穩定之離子束輔助電子槍鍍膜系統，此系統採用離子束輔助電子槍蒸鍍製程，並為精確地掌握薄膜之光學厚度及高層數膜系製備需求，除傳統所用石英振盪膜厚計外，另配置高精度光譜式光學膜厚監控系統。此種鍍膜方式經過多年發展與驗證，確能符合遙測酬載薄膜品質之需求，且與目前我國鍍膜產業之常用技術相近，未來在進行相關技術移轉時將更具相容性。為確保元件之環境耐用品質，所發展製程將採用物性、化性良好的薄膜材料製作不同設計之多層膜堆，並配合太空規格薄膜品質之測試，以提供光電遙測系統所需紫外光至近紅外光波域之不同波段濾光鏡。

目前國內真空鍍膜系統廠商自製之光學薄膜鍍膜系統已有相當市場佔有率，唯在高可靠度自動控制與高精密度光學膜厚監控技術仍不及先進國家水準，尚待改進。因此，未來將整合精儀中心現有之鍍膜設備技術，並針對市場需求之各式光學薄膜元件，開發全自動精密光學鍍膜機，配合可靠之量產鍍膜製程技術，尋求合適廠商進行技術移轉，此部分工作目前正積極推動中。

2. 先導性薄膜元件製程技術與特殊鍍膜系統技術開發

(1) 化學束磊晶系統與 III-V 半導體製程技術開發

III-V 族半導體設備產業為一新興市場，尚無歐美日等大廠壟斷。現行 III-V 半導體前段磊晶製程的主要技術分別為分子束磊晶法 (MBE) 及有機金屬化學氣相沉積法 (MOCVD)，目前量產技術以 MOCVD 法為主。精儀中心設計組立之化學束磊晶系統係結合超高真空系統、有機金屬源 (三乙基鎵)、反射式高能電子繞射即時監控及射頻電漿氮原子源所構成，目前正進行磊晶製程及其材料結構與光電特性研究，目標在發展兼具產能與品質控制之磊晶系統，希望能有效降低磊晶生成溫度，控制缺陷密度及磊晶品質。在磊晶製程開發方面，除基本的薄膜磊晶外，並將進行奈米級磊晶層與元件製程之研究，以作為開發相關高品質之應用元件 (如發光二極體、光偵測器、高速電晶體及雷射二極體

等) 的基礎。另外，功能性奈米元件為我國於奈米科技領域中具競爭力的一環，而 III-V 半導體為生產高發光效率、長壽命光電元件、高效能異質界面電子元件及奈米量子元件 (如量子點與量子井) 之重要材料，有關此項技術的研發正蓬勃發展，此時投入設備與製程開發工作，將可為我國未來發展高品質奈米光電元件產業搶得技術先機。

(2) 脈衝雷射鍍膜系統與多元複合材料薄膜製程技術開發

脈衝雷射鍍膜法具備所製鍍之薄膜成份比例與原靶材成分比例幾乎相同之特性，特別適用於複雜成分結構之多元複合材料薄膜元件之製鍍。精儀中心所開發之 Nd:YAG 脈衝雷射鍍膜系統 (如圖 10)，係以倍頻晶體調變輸出雷射光波長，配有靶材與基板自轉機構以製鍍均勻之薄膜元件，另配備離子槍可進行離子束輔助鍍製程。目前正進行 ZnO、Pb(Zr,Ti)O₃ 與 (Pb,La)(Zr,Ti)O₃ 等材料磊晶薄膜之製程研發，未來發展之材料為混合型弛豫鐵電 (relaxor ferroelectric) 材料 PMN-PT[(PbMg_{1/3}Nb_{2/3}O₃)_{1-x}(PbTiO₃)_x]，因為相對於目前最常應用的壓電陶瓷 Pb(Zr,Ti)O₃ (PZT)，其具有更高的壓電係數及介電常數，所以它們在壓電相關應用的潛力日益受到重視。由於在室溫下具有很大的壓電常數與低介電損耗，因此在製作高效能轉換器及感應器微元件方面極具潛力，此部分研究將與精儀中心微系統元件之研發相互支援，以發揮其應用價值。

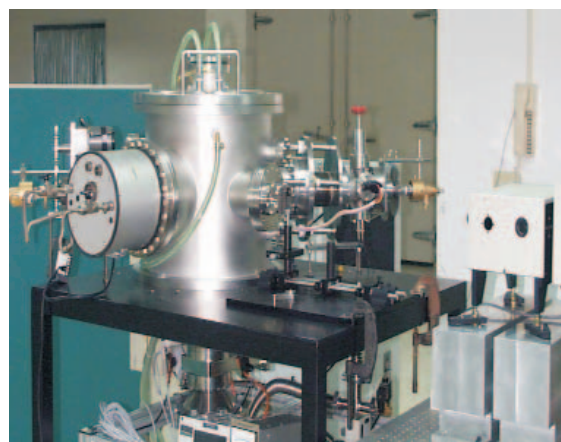


圖 10. 脈衝雷射鍍膜系統。



圖 12. 化學氣相沉積系統。

協助學術界製造各種特殊真空設備以供教學研究，向為精儀中心的重要任務，歷經二十多年在真空系統設計與製造技術開發經驗，未來將更積極推動此項工作，目前已有多項來自各大學委託之真空鍍膜系統製造正在進行中，甫開發完成用於奈米碳管成長製程之高溫化學氣相沉積系統 (如圖 11) 即為國立中正大學化學系所委託製造。

四、結語

值此三十週年慶之際，回顧過去精儀中心在真空與鍍膜技術領域努力的成果，檢視現今真空工業蓬勃發展現況及所需的技術支援，我們逐步地修正了發展的方向，以製程技術開發與設備研製並重，研究方向配合技術服務需求為目標，積極支援在遙測光學影像系統技術開發與結合微奈米技術發展先導性薄膜元件，並延續過去在真空儀器設備、真空鍍膜製程及真空標準檢校技術的長期發展，與加強真空系統委製、薄膜元件製作、薄膜特性分析、真空儀器標準檢校的技术服務工作，在現有奠定之基礎上，延續前輩們從無到有的研創精神，繼續為我國真空科技進展而努力。

參考文獻

1. 高健薰, 科儀新知, **15** (41), 16 (1994).
2. R. Y. Jou, H. P. Cheng, Y. W. Chang, and F. Z. Chen, *Journal of Vacuum Science and Technology A*, **18** (3), 1016 (2000).
3. H. P. Cheng, R. Y. Jou, F. Z. Chen, Y. W. Chang, M. Iwane, and T. Honaoka, *Journal of Vacuum Science and Technology A*, **18** (2), 543 (2000).
4. Y. W. Chang and R. Y. Jou, *Applied Surface Science*, **169-170**, 772 (2000).
5. 周榮源, 陳峰志, 鄭鴻斌, 張郁雯, 高健薰, 林進祥, Iwane, Matsume, 中華民國新型專利第 153312 號 (1999).
6. F. Z. Chen, R. Y. Jou, Y. W. Chang, J. S. Lin, and H. P. Cheng, *US Patent 6,057,620* (1999).
7. R. Y. Jou, F. Z. Chen, H. P. Cheng, Y. W. Chang, J. S. Kao, J. S. Lin, Iwane, and Matsume, *France Patent No. 2 782 754* (1998).
8. R. Y. Jou, F. Z. Chen, H. P. Cheng, Y. W. Chang, J. S. Kao, J. S. Lin, Iwane, and Matsume, *German Patent No. 298 15 055.7* (1998).
9. 江政忠, 李正中, 田春林, 中華民國發明專利第 111817 號 (2000).
10. 江政忠, 李正中, 田春林, 何英哲, 中華民國發明專利第 119783 號 (2000).
11. J. S. Chen, S. Chao, J. S. Kao, H. Niu, and C. H. Chen, *Applied Optics*, **35**, 90 (1996).
12. P. L. Chen, M. Y. Tsai, and J. S. Kao, *Applied Surface Science*, **92**, 30 (1996).
13. C. F. Yeh, T. J. Chen, and J. S. Kao, *Applied Physics Letters*, **70** (12), 1611 (1997).
14. C. C. Hwang, M. J. Lai, C. C. Jaing, J. S. Chen, S. Huang, M. H. Juang, and H. C. Chen, *Japanese Journal of Applied Physics, Part 2: Letter*, **39** (12), 13 (2000).
15. C. C. Jaing, C. H. Lai, H. L. Kao, and J. S. Chen, *Integrated Ferroelectrics*, **33** (1-4), 343 (2001).
16. C. C. Jaing, M. H. Cheng, J. S. Chen, C. H. Tsai, P. S. Yeh, J. S. Kao, and H. T. Hsiao, *Applied Surface Science*, **169**, 649 (2001).
17. C. C. Jaing, C. H. Tsai, J. S. Chen, M. H. Cheng, H. Y. Hsiao, P. S. Yeh, and J. S. Kao, *US Patent 6,493,070 B1* (2000).
18. 林哲明, 周卓輝, 呂日清, 柯弘哲, 徐永裕, 林炳宏, 林進祥, 日本新型專利第 3081421 號。

-
- 蕭健男先生為國立台灣大學材料科學與工程學博士，現任國科會精密儀器發展中心副工程師。
 - Chien Nan Hsiao received his Ph.D. in materials science and engineering from National Taiwan University. He is currently an associate engineer at Precision Instrument Development Center, National Science Council.