



## 100年度奈米國家型計畫執行報告

### 奈米技術計量標準計畫（3/6）

（3 年度）

全程計畫：自 98 年 1 月至 103 年 12 月止

本年度計畫：自 100 年 1 月至 100 年 12 月止

委託單位：經濟部標準檢驗局

執行單位：工業技術研究院

中華民國 100 年 12 月

**【 期末報告摘要資料 】**

科資中心編號	PG10001-0113			
計畫中文名稱	奈米技術計量標準計畫			
主管機關	經濟部標準檢驗局	計畫編號	100-1403-36-辛 01-00-00-00-24	
執行機構	財團法人工業技術研究院	審議編號	100-1403-05-辛04	
年度	100	全程期間	9801-10312	
本期經費	41,672仟元			
執行單位出資	0%			
經濟部標準檢驗局	委託(補助) 100%			
執行進度		預定進度	實際進度	落後比率(比較)
	當年	100%	100%	0%
	全程	35%	35%	0%
經費支用		預定支用經費	實際支用經費	支用比率
	當年	41,672仟元	41,635仟元	99.9%
	全程	275,034仟元	146,627仟元	53.3%
中文關鍵詞	奈米計量、奈米粒子、奈米薄膜計量、X 光量測技術、奈米標準			
英文關鍵詞	Nanometrology, Nanoparticle, Thin Film Metrology, X-Ray Technology, Nanotechnology Standard			
研究人員	中文姓名		英文姓名	
	張啟生		Chi-Sheng Chang	
	傅尉恩		Wei-En Fu	
	劉惠中		Huay-Chung Liou	
	姚斌誠		Bin-Cheng Yao	
研究成果中文摘要	<p>1. 奈米粒子/線之尺寸形貌與功能性量測標準追溯分項：</p> <p>(1) 奈米粒子形貌與分佈量測標準技術及奈米粒子參考物質。</p> <p>-完成追溯型FE-ESEM系統評估與查驗</p> <p>線距：95%信賴區間，涵蓋因子為1.98</p> <p>量測範圍70 nm ~ 1000 nm;</p> <p>最小量測不確定度為</p> <p>0.3 nm (標稱值為70 nm)</p> <p>2.8 nm (標稱值為700 nm);</p> <p>標準粒子：95%信賴區間，涵蓋因子為1.98</p> <p>量測範圍10 nm ~ 60 nm;</p> <p>最小量測不確定度為</p> <p>1.4 nm(標稱值為10 nm)</p>			

5.3 nm (標稱值為60 nm)。

-完成氣相粒子量測系統建置與初期測試與研究。

-完成奈米粒子參考物質研製技術(SiO<sub>2</sub>, Ag)。

(2) 奈米粒子/線功能性量測標準技術建立(力量量測範圍在200 microNewton 以下, 力量不確定度小於100 nN)。

-完成微力機構靜電力追溯量測系統建置, 及三電極電容之電容梯度追溯量測。

-完成1 mg靜法碼力(9.789±0.003) μN與靜電力平衡實驗, 補償靜電力由控制迴圈自動給定。由1300次之量測結果, 靜電力平均值為9.785 μN, 一倍標準差為7 nN。

-完成微力傳感器(傳遞標準)之力常數量測(73.166 N/m), 施力範圍(1 to 100) μN。

2. 薄膜結構與特性量測標準追溯分項：

(1) 薄膜結構參數量測標準及參考物質量測技術建立。

-本年度發展利用原子力顯微鏡量測奈米級線型粗糙度量測與線寬粗糙度的量測技術, 經過評估在95%的信賴水準下, 其最佳校正能力為2.54 nm。

(2) 薄膜表面特徵量測標準技術建立。

-完成晶圓表面30 nm ~ 60 nm微粒分佈量測研究: 新設計製作一高效率之奈米粒子沉降系統, 並完成系統測試, 可將原本將近一個月之20 nm粒子沉降時間大幅縮短為數天。除了拉近佈植腔內奈米微粒入口與欲佈植之晶圓間的距離以縮短沉降時間之外, 更設計了高絕緣的電極供外加電場以加速奈米微粒的沉降。

-晶圓表面奈米微粒粒徑量測系統查驗完成並開放服務:

校正項目: 晶圓表面奈米微粒粒徑(聚苯乙烯, PSL)

量測範圍: 100 nm至300 nm

最佳校正能力:

粒徑100 nm至200 nm: U= 8.1 nm

粒徑200 nm至300 nm: U= 18.7 nm

信賴水準: 95 %

(3) 奈米薄膜機電特性與化學性質標準技術建立。

-本年度計畫主要為利用奈米拉伸與奈米壓痕量測系統進行薄膜附着力等相關機械性質量測研究。在奈米拉伸系統上設計三段式夾具用以量測薄膜正向附着力; 亦設計夾具解決黏絲材料的黏附力量測並進行技術授權, 可控制力量範圍為0 mN到500 mN, 擴充了系統的功能與應用性。而在奈米壓痕量測系統上則利用側向力模組進行薄膜的刮痕試驗, 力量控制範圍為1 mN到9 mN, 可進行膜厚100 nm 到400 nm的金屬薄膜刮痕試驗, 獲得薄膜於基材上的臨界載重, 並配

	<p>合電子顯微鏡的影像用以判斷薄膜於基材上的剝離與脫層行為 (Delamination)。</p> <p>3. 奈米國際量測與產品標準推動分項：</p> <p>(1) 主持IEC TC 113 WG3 一新提案 (奈米產品相關)計畫 Preliminary Working Item(PWI)提案，進行工作草案(WD : working draft)工作 ” General quality assessment for nano-electrotechnical products ” (編號: PT113-111)。</p> <p>(2) 奈米標準諮議會(TNSC)：</p> <p>a) 第一工作組(TWA1)進行兩件新工作提案：</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. 諮詢階段(enquiry stage): 中文化草案 Nanotechnologies —Terminology and definitions for nanoobjects— Nanoparticle, nanofibre and nanoplat (ISO/TS 27687)</li> <li>2. 工作草案階段(CD: committee draft):中文化草案 ” ISO/TS 80004-3:2010 — Nanotechnologies — Vocabulary — Part 3: Carbon nano-objects ”</li> </ol> <p>b) 第二工作組(TWA2)完成一件TNSC標準：</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. TNSC標準(編號:DTNS10002001) ” 奈米產品：表面粒子尺度測定法 - 掃描電子顯微鏡”</li> </ol> <p>c) 舉辦二場奈米標準諮議會(TNSC)會議、二場工作組(TWAs)會議及一場工作組聯合(TWAs)會議</p> <p>(3) 標準組織參與運作  協調專家參加ISO TC 229、IEC TC 113、VAMAS國際奈米標準會議共11人次，參與約50項標準草案的討論與意見陳述或修改提案內容。</p>
英文摘要	<p>1. Measurement Standards for Nanoparticle/Nanowire Sizes and Functional Properties：</p> <p>(1)Nanoparticle Topography and Distribution Measurement Standards, and Reference Materials:</p> <p>-The Scanning Electron Microscopy Measurement System provides</p> <p>(i)Pitch calibration：</p> <p>Minimum measurement uncertainty  0.3 nm (at nominal pitch of 70 nm)  2.8 nm (at nominal pitch of 700 nm)  Measurement range：70 nm - 1000 nm  Coverage factor：1.98</p> <p>(ii)Particle standards：</p> <p>Minimum measurement uncertainty  1.4 nm (at nominal size of 10 nm)  5.3 nm (at nominal size of 60 nm)</p>

	<p>Measurement range : 10 nm - 60 nm  Coverage factor : 1.98</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>-Develop and study on the Aerosol concentration measurement system</li> <li>-Research on Fabrication of Nanoparticle Reference Materials (SiO<sub>2</sub>, Ag).</li> </ul> <p>(2) Nanoparticle/Nanowire Functional Properties Measurement</p> <p>Standards:(Force measurement below 200 microNewton with measurement uncertainty smaller than 100 nN ) :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>-A traceable measurement system for measuring voltage, capacitance and length has been established. The capacitance gradient of the three-electrode capacitor has been measured.</li> <li>-An experiment of balancing 1 mg deadweight force (<math>9.789 \pm 0.003</math>) <math>\mu\text{N}</math> by using electrostatic compensation force that is automatically controlled via a feedback control loop was performed. From the results of 1300 runs, the electrostatic compensation force has an average of 9.785 <math>\mu\text{N}</math> and a standard deviation of 7 nN.</li> <li>-The force constant measurement of a microforce transducer was carried out at the force range of (1 to 100) <math>\mu\text{N}</math>. The measured stiffness is 73.166 N/m.</li> </ul> <p>2. Measurement Standards for Thin Film :</p> <p>(1)Thin Film Surface CD Measurements and Characterization</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>-Developing the measuring technique of line edge roughness(LER) and Linewidth Roughness(LWR) in cross section shape was carried out. The atomic force microscope (AFM) can be used to measure the LER/LWR of specimen, and the evaluation analysis of LER/LWR was performed. The best measurement capability (BMC) was estimated to be 2.54 nm with a coverage factor k of 2.57 at a confidence level of 95 %.</li> </ul> <p>(2)Thin Film Surface Geometric Metrology</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>-Study on distribution of particles on wafer (30 nm ~ 60 nm): the deposition system for producing contamination reference standards was greatly improved. The deposition time was shortened to several days from 20+ days.</li> <li>-The uncertainty evaluation of nanoparticles on wafer characterized by Polarized Scattering Analysis (PSA) for nanoparticle size on wafer surface calibration system was completed.</li> </ul> <p>Calibration item: Nanoparticle size on wafer surface (Polystyrene).  Measurement range of Particles Diameter: from 100 nm to 300 nm  Expanded uncertainty:</p>
--	--

From 100 nm to 200 nm : U = 8.1 nm  
From 200 nm to 300 nm : U = 18.7 nm  
Confidence level: 95 %.

(3)Thin Film Functional Properties Measurement and Characterization

-The aim of this study is to provide the functional applications of micro/nano measurement system. The design concepts of gripper for nano tensile test are presented in this study. It can be utilized to perform the adhesion test for thin film materials. Moreover, scratch tests using the nanoindentation system are used to find out the critical load. These techniques can be used to expand the functional applications of micro/nano measurement system and measure the mechanical properties of thin film materials.

3. International Standards for Nano-Measurements and Nano-Products :

(1) to establish and chair a new IEC TC 113 WG3 proposal (nano product related) program: Preliminary Working Item (PWI) "General quality assessment for nano-electrotechnical products" (Code: PT113-91).

(2) Taiwan Nano Standard Council (TNSC):

a) Technical Working Area 1(TWA1) continue two working items:

1. Enquiry stage: traditional Chinese version of ISO / TS 27687 "Nanotechnologies-Terminology and definitions for nanoobjects-Nanoparticle, nanofibre and nanoplat"
2. Committee stage (CD): traditional Chinese version of "ISO / TS 80004-3:2010 - Nanotechnologies - Vocabulary - Part 3: Carbon nano-objects"

b) Technical Working Area 2 (TWA2) established 1<sup>st</sup> TNSC standard

1. TNSC standard (DTNS10002001): " NANOPRODUCT: METHOD OF DIMENSIONAL MEASUREMENT OF NANOPARTICLES ON SURFACE - SCANNING ELECTRON MICROSCOPE "

c) 2 Taiwan Nano Standards Council (TNSC) and 2 technical working group meetings and 1 joint technical working group meeting were hold.

(3) standards organizations participation

To Coordinate the experts participation of a total of 11 standard meetings, including ISO TC 229, IEC TC 113 and VAMAS, participating in the discussion of about 50 draft standards.

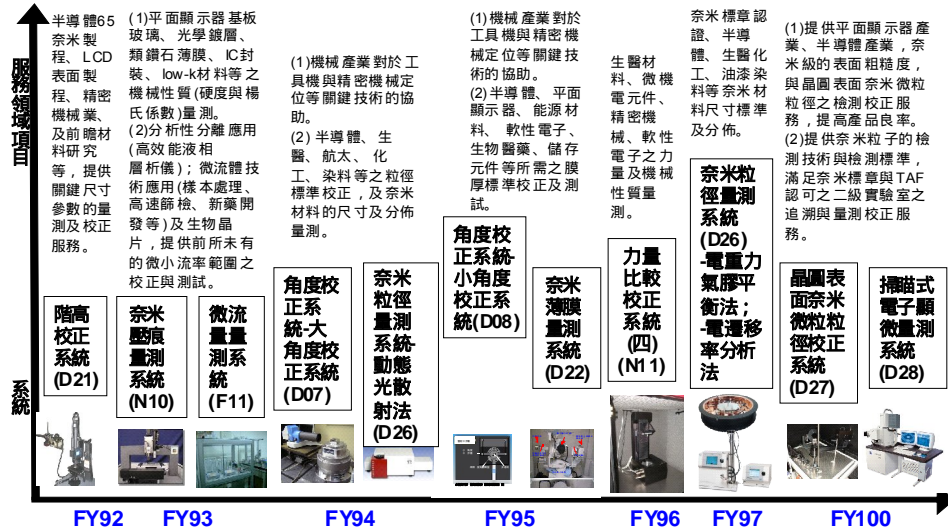
本計畫執行成果之實質影響與重要性：

(一)經濟效益

1. 建立我國在奈米技術的發展上所需之量測標準與關鍵技術，建置與維持國家最高之奈米計量標準的完整追溯體系。本計畫已建立之十套國家標準系統(如圖一)，每年約可提供 200 件/250 萬元的校正服務(由國家度量衡標準實驗室運作計畫統一繳庫)，一般咸認以二級實驗室之數量(全國認證基金會目前所認可之實驗室超過一千家)作為乘數來評估一級校正之衍生效益，依此計算本計畫在經濟效益上的擴散效益，每年可達 25 億元以上。

圖一 FY92-100 已建立之十套國家標準系統

**重要客戶：台積電、聯電、中華映管、華邦電、南亞科技、瀚宇、華映、統寶、凌巨、華邦、育鼎、茂德、安捷倫、傑克電機、巨研科技、友嘉、南港輪胎、中國砂輪、科榮科技、清華大學、中興大學、成功大學、金工中心、工研院奈米中心&電光所&顯示中心&無線辨識科技中心&機械所，超過1,200件校正服務。**

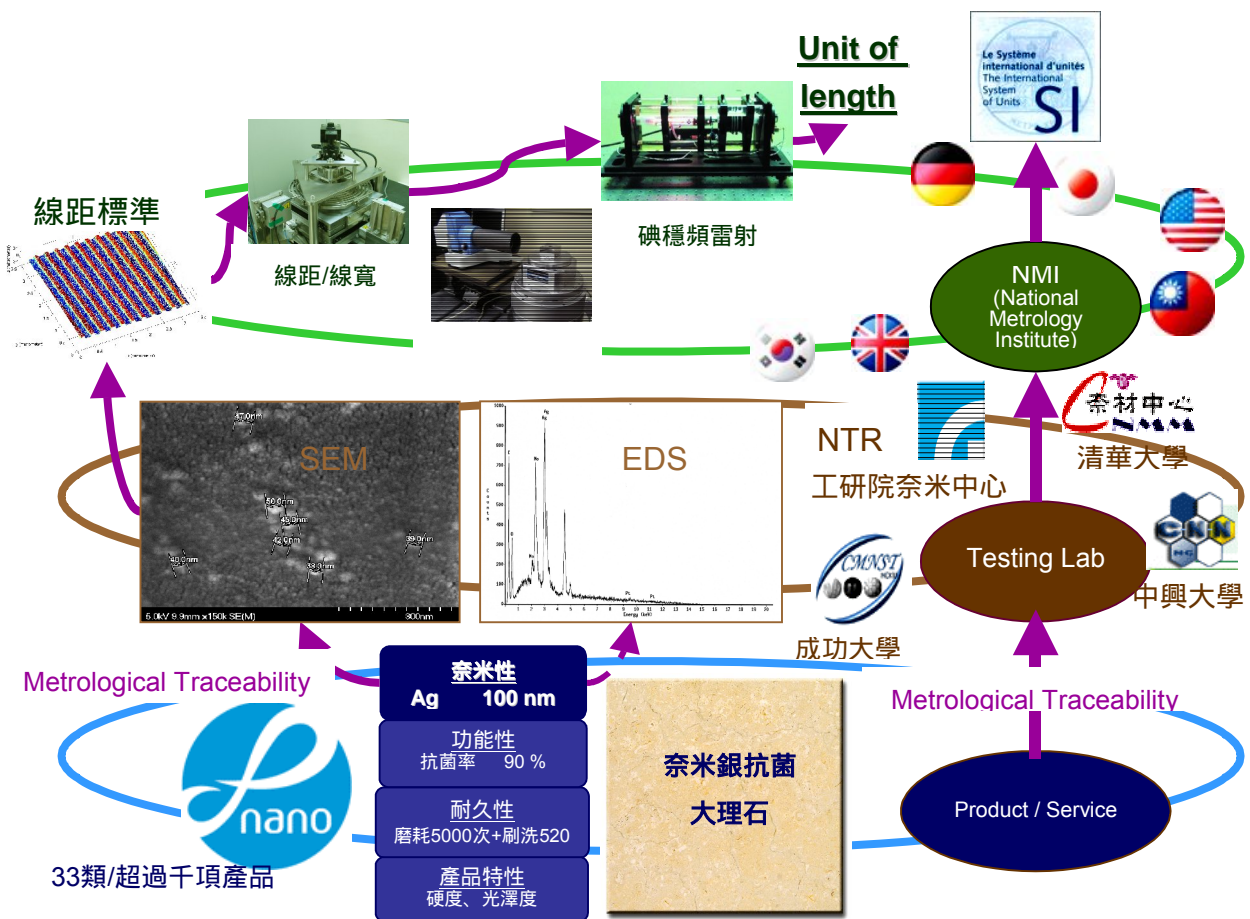


(1)實例：階高(step-height)標準校正服務，協助半導體產業晶片製程設計、物料採購及生產製程品管。在薄膜(metal)、黃光及蝕刻三段製程中都會先檢測電性是否符合設計，若不在可接受範圍內，將再針對此處進行 step-height 檢測，因差異將影響元件或產品電性，造成產品如 CPU 速度不對(高度愈高電阻愈小)，每案客戶的設計規格中可容忍的誤差為±10 %。效益估算以台積電為例：97 年營收為 NT321,767 M/year；參考 BIPM (國際度量衡局)的評估模式：一級校正服務之效益佔產值之 1 %，據此估算服務此公司之貢獻度達 NT3,217.67 M/year，若降低二個數量級(order)保守估算仍有 NT32 M/year，而台積電 90 奈米與 65 奈米製程佔營收之 48% (Q4 分別為 21 %與 27 %)，則估計本系統對該公司之貢獻度可達 NT16 M/year。

2.本計畫所建置之檢測追溯技術與量測系統，具以協助經濟部工業局推動奈米產品驗證制度(奈米標章)，提供產品驗證時奈米尺度之驗證依據。

(1)實例：建置粉體粒徑標準量測系統，作為我國奈米粉體粒徑量測最高標準，提供奈米標章認可實驗室檢測廠商產品之追溯依據(如圖二)。目前取得認可之奈米標章的產品超過九百項，生產認可產品約可提高產品價格 10%~20%，並可提昇公司形象與產業競爭力。粗估通過認可之奈米產品，每年總產值可達數億元以上。

圖二 協助推動奈米標章及建立完整標準追溯鏈





## (二)社會效益

1.本計畫所研發之計量技術與追溯評估技術，已成功移轉至學術單位，實質提升實驗品質與學術實力。

(1)實例：成功大學 - Nanoindentation, DLS, Contact Angle；清華大學 - AFM；中興大學 - DLS；龍華科技大學 - AFM。

(2)舉辦能力試驗：DLS(成功大學、中興大學、美梭公司)

2.協助政府權責機關，共同研擬奈米技術在安全問題與健康問題上之解決對策。

(1)實例：衛生署 - 執行執行奈米產品檢驗人才教育訓練暨實務訓練計畫-奈米藥品、醫療器材及化粧品檢驗及實驗室人員訓練機制之研究(FY100)、奈米檢驗及製造廠人才教育訓練暨實務訓練-奈米藥品、醫療器材及化粧品檢驗及實驗室稽查人員訓練機制之研究(FY99)、奈米檢驗及製造廠查核人員奈米技術能力提升及實務輔導(FY98)、建構奈米化藥品之奈米檢測方法與安全性評估機制(FY98)；勞研所 - 奈米作業場所調查與粒徑濃度測定(FY97)。

## (三)國際影響：

1.推動奈米計量與標準之國際調和工作，積極參與國際標準活動，研究實力深獲國際肯定，並與國際奈米研究機構，建立完整而堅強的聯盟關係。

(1)實例一：97年5月20日完成與凡爾賽先進材料與標準計畫(VAMAS: The Versailles Project on Advanced Materials and Standards)簽訂合作備忘錄(MOU)，加入 Steering Committee 成為正式會員。

(2)實例二：97年10月28日與日本物質材料研究機構(NIMS: National Institute for Materials Science, Japan)簽訂合作備忘錄(MOU)，針對 Nanotechnology-driven advanced materials metrology research, X-ray physics and its industrial metrology applications, Nanoscale material characterizations 等方向進行合作。

(3)實例三：98年2月26日歐洲標準參考物質中心 IRMM (Institute for Reference Materials and Measurements)邀請本計畫參加 30 nm Silica 奈米粒子量測能力試驗。以動態光散射法(DLS)量測的比對結果被接受，受邀成為 IRMM 的合作伙伴，接受 IRMM 委託測試其開發的奈米粒子驗證參考物質。99年3月接受 IRMM 委託以 DLS, TEM/SEM 量測 2 個二氧化矽奈米粒子 FD100 及 FD304。

(4)實例四：97年11月與台大粒子實驗室共同參加美國 NIST 主辦的 Nano-TiO<sub>2</sub> 比表面積量測能力試驗。

(5)實例五：99年接受 IRMM 委託，以 DLS 及 EM 量測二氧化矽奈米粒子 ERM-FD304 及 ERM-FD100。

(6)實例六：2010.11 APMP-TCL 與 WGMM 大會，決議由國家度量衡標準實驗室，擔任 2011-2012 國際奈米粒子比對(APMP TCL / WGMM Supplementary comparison on Nanoparticle Size)之 Pilot Lab、NMIJ 擔任 Co-pilot Lab。

2.透過國際合作共同解決全球之奈米 EHS 議題。

(1)實例：97年8月27日與美國國家職業安全衛生研究所(NIOSH: National Institute for Occupational Safety and Health, USA)簽訂合作意願書(LOI)，內容為「Collaborating on a project to coordinate development of reference materials for engineered nanoparticles」。

圖三 計畫之社會效益與國際影響



報告頁數	
使用語言	中文
全文處理方式	可立即對外提供參考

# 報 告 內 容

# 目 錄

壹、年度活動紀要	1
貳、前言	2
參、計畫變更說明	2
肆、執行績效檢討	
一、與計畫符合情形	
(一)進度與計畫符合情形	3
(二)目標達成情形	4
(三)配合計畫與措施	16
二、資源運用情形	
(一)人力運用情形	17
(二)設備購置與利用情形	17
(三)經費運用情形	18
三、人力培訓情形	20
伍、成果說明與檢討	
一、奈米粒子/線之尺寸形貌與功能性量測標準追溯分項計畫	30
二、薄膜結構與特性量測標準追溯分項計畫	76
三、奈米國際量測與產品標準推動分項計畫	103
四、成果與推廣	116
陸、結論與建議	121
附件	
附件一、新台幣參百萬以上儀器設備清單	127
附件二、國外出差人員一覽表	127
附件三、專利成果統計一覽表	129
附件四、論文一覽表	130
附件五、研究報告一覽表	135
附件六、研討會/成果發表會/說明會一覽表	137
附件七、研究成果統計表	138
附件八、中英文對照表	139
附件九、參考文獻索引	142
附件十、期末報告委員審查意見回覆	145
附件十一、FY100 審查暨驗收會議記錄回覆	150

## 壹、年度活動紀要

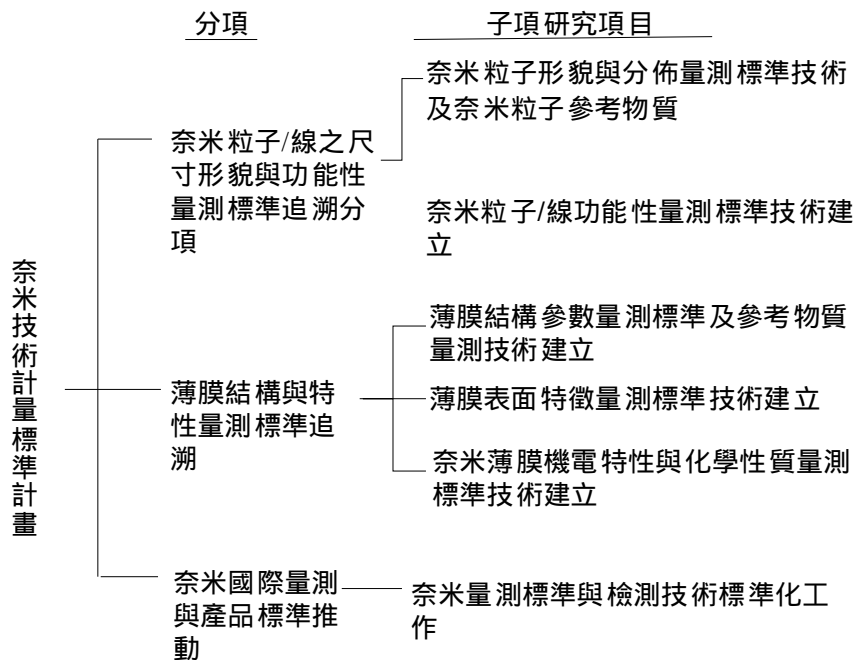
時間	大事紀要
99/12/27	Fy100 奈米技術計量標準計畫議價，本計畫以 52,000 仟元決標。
99/12/29	舉行 FY99 奈米技術計量標準計畫期末實地查證會議，由莊素琴副局長主持。
99/01/06	國家型計畫辦公室召開奈米國家型科技計畫-跨部會署溝通協調會會議紀錄，由經濟部標檢局楊振奇科長、張力成先生代表出席簡報。
100/01/20	<b>依議價金額 52,000 千元，進行計畫簽約。</b>
100/02/18	Fy101 奈米技術計量標準計畫綱要計畫審查會於標檢局第一會議室舉行。
100/02/25	國家型計畫辦公室召開奈米週 EHS 分項會議，本計畫進行計畫執行內容與成果報告，標檢局張力成先生與主持人張啟生博士代表出席。
100/03/02	<b>配合立法院審議刪減預算為 41,672 千元，進行計畫書內容與合約的修訂變更。</b>
100/03/16	召開「晶圓表面奈米微粒粒徑量測系統」的查驗會議，5 位委員決議依建議修訂後通過。
100/03/17	召開奈米標準技術諮議會(Taiwan Nanotechnology Standard Council, TNSC)100 年第 1 次會議，進行新舊主席交接，由新召集人吳重雨總主持人，副召集人陳介山局長(莊素琴副局長代表出席)及段家瑞主任主持，大會進行秘書處及 4 個技術工作組的工作報告，並依會議共識修訂 TNSC 標準制定細則及通過 2 標準提案及新會員申請 3 案。
100/04/06	國家型計畫辦公室召開奈米國家型科技計畫第二次部會協商會議，由經濟部標檢局代表出席簡報計畫迄今執行成果。
100/04/14	辦理 2011 Workshop on Nanoparticle Size Measurement, 共有 71 人次與會
100/05/09	舉行部會「101 年度奈米國家型科技計畫中程綱要計畫」初審會議，由標檢局楊科長簡報 FY101 奈米技術計量標準計畫，協同主持人傅尉恩博士，列席備詢。
100/06/02	辦理「奈米粒子檢測標準帶動產業發展論壇」，計有產官學研代表 8 人與會。
100/06/29	辦理奈米粉體粒徑與奈米薄膜量測技術研討會，共有 45 人次，16 廠家參加。
100/08/29	完成計畫期中書審。
100/10/06	FY100 奈米技術計量標準計畫細部計畫審查會於標檢局第一會議室舉行
100/10/5-7	本計畫參展於台北世貿，舉行 Taiwan Nano 2011(台灣奈米科技展)，展出奈米粒徑量測方法及奈米計量標準對 EHS 影響之相關內容，展出方式有看板、影音及標準粒子樣本。

時間	大事紀要
100/10/19	於經濟部標準檢驗局會議室，舉辦奈米薄膜檢測標準技術論壇。
100/11/24	召開「掃描式電子顯微量測系統」的查驗會議。
100/12/13	參展標檢局主辦的計畫成果聯合展。

## 貳、前言

「奈米技術計量標準計畫」之目的為建立具良好追溯性的奈米標準與計量技術，發展以原子或分子為基礎的計量標準，並配合奈米國家型科技計畫開發奈米計量技術，以為我國長期產業及經濟發展奠基。本年度執行重心，奈米粒子/線之尺寸形貌與功能性量測標準追溯分項 2 個研究項目(奈米粒子形貌與分佈量測標準技術及奈米粒子參考物質；奈米粒子/線功能性量測標準技術建立)；薄膜結構與特性量測標準追溯分項 3 個研究項目(薄膜結構參數量測標準及參考物質質量測技術建立、薄膜表面特徵量測標準技術建立、奈米薄膜機電特性與化學性質量測標準技術建立)；奈米國際量測與產品標準推動分項 1 個研究項目(奈米量測標準與檢測技術標準化工作)。

本年度計畫架構如下：



參、計畫變更說明：無。

肆、執行績效檢討

一、與計畫符合情形

(一)進度與計畫符合情形

預定進度 —— 實際進度 .....

進度 工作項目	100年											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
A. 奈米粒子 / 線之尺寸形貌與功能性量測標準追溯分項												
• 奈米粒子形貌與分佈量測標準技術及奈米粒子參考物質建立												
-奈米粒子形貌與分佈量測標準技術			A1		A2				A3		A4	A5
			*		*				*		*	*
-奈米粒子參考物質研製技術					A6					A7		
					*					*		
• 奈米粒子 / 線功能性量測標準技術建立												
-奈米粒子/線機械性質追溯及量測技術				A8		A9		A10			A11	
				*		*		*			*	
B. 薄膜結構與特性量測標準追溯分項												
• 薄膜結構參數量測標準及參考物質量測技術建立												
-量測crystal lattice 技術、LER/LWR量測						B1			B2		B3	
						*			*		*	
• 薄膜表面特徵量測標準技術建立												
-晶圓表面特徵之偏振散射光量測技術			B4								B5	
			*								*	
• 奈米薄膜機電/化學特性量測標準技術建立												

進度 工作項目	100年											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
-薄膜拉伸量測技術						B6			B7			B8
						*			*			*
C. 奈米國際量測與產品標準推動分項												
• 奈米諮議會/秘書處運作												C1
												*
• 奈米量測標準與檢測技術標準化						C2						C3
						*						*
進度百分比%	25 %			45 %			75 %			100 %		

## (二)目標達成情形

### 1.奈米粒子/線之尺寸形貌與功能性量測標準追溯分項計畫

計畫目標	目標達成程度	差異檢討
(一) 奈米粒子形貌與分佈量測標準技術及奈米粒子參考物質建立		
1.追溯型 FE-ESEM 系統評估與查驗(量測範圍 20 nm ~ 1000 nm, 量測不確定度 5 nm ~ 30 nm)。	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 10002 校正標準片(Pitch 70 nm)送往德國 PTB 校正中, 規劃追溯、校正程序與邊界效應之評估。</li> <li>● 100/04 SEM 標準件校正, 並進行系統查核。</li> <li>● 10007 追溯型電子顯微鏡, 在 100 nm 等級線距之量測中, 其最佳量測能力之量測不確定度約為 2.5 nm。</li> <li>● 100/08 SEM 線距與粒徑量測不確定度計算</li> <li>● 100/10 完成 SEM 線距與粒徑量測不確定度與標準程序撰寫。</li> <li>● 100/11/24 進行審查會議。</li> </ul>	● 無差異
2.氣相粒子等效粒徑理論分析及線上量測系統建置與初期測試與研究。	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 10002 評估靜電式奈米粒子霧化器時, 不同導電度溶液對產生之 particle 粒徑值的影響</li> <li>● 100/04 委託電磁量室進行 pA 電流校正模組</li> </ul>	● 無差異



計畫目標	目標達成程度	差異檢討
	<p>設計與組裝 完成粒徑與濃度分析系統設計。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>● 100/05 完成粒徑與濃度分析系統設計、SEM 系統量測方程式。</li> <li>● 10008 完成奈米粒子蒐集器與加工、線上檢測氣相等效粒徑分析裝置組裝。</li> <li>● 100/10-11 以單一分布聚苯乙烯粒子 (0.1 μm~1 μm) 測試濃度系統。利用 30 nm 聚苯乙烯球完成 CPC 效率測試。</li> </ul>	
<p>3. 奈米粒子參考物質研製技術 (SiO<sub>2</sub>, Ag)。</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 10002 多元醇法奈米銀粒子粒徑以動態光散射法與 SEM 進行重複性與長期穩定度評估</li> <li>● 10003 A、AFM、DLS、SEM 進行測試比對所需之奈米粒子, PSL 30 nm 到 1000 nm, 奈米金 10 nm, 30 nm, 奈米銀 20 nm。</li> <li>● 4-5 月修正製程, 排除均一性不佳之問題, 增加粒子濃度, 純化粒子濃度, 去除溶液中之溶劑。採購商用奈米銀產品, 進行比較。100/06 進行測試 SiO<sub>2</sub>/Ag 奈米粒子並進行奈米銀製程改善。7 月以掃描式電子顯微鏡與動態光散射法等儀器分析與評估穩定性與均一性等, 持續改善製程細節, 如增加粒子濃度, 純化粒子濃度, 去除溶液中之溶劑, 以提昇品質。由測試結果分析, 需去除溶液中較大尺寸微粒, 以降低 CV 值, 進行奈米粒子調配及過濾。</li> <li>● 100/05 完成奈比粒子比對 protocol 第二版</li> <li>● 100/06 蒐集國內對奈米銀潛在需求。兩個月的量測評估過程, 出現提昇奈米銀濃度可能會造成穩定性降低與團聚現象, 進行製程調整。</li> <li>● 100/10 測試台大與遠東科技大學製作之粒子與分析比較。</li> <li>● 100/10 與國衛院洽談奈米銀需求, 並以澱粉進行無毒奈米銀製作, 完成初步物性與化學分析。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 無差異</li> </ul>

計畫目標	目標達成程度	差異檢討
	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 11月樣本送與國衛院進行細胞與毒性實驗合作。</li> </ul>	
<p>(二) 奈米粒子 / 線功能性量測標準技術建立</p> <p>1.完成微力機構靜電力追溯,及10 <math>\mu</math>N 靜電力與 1 mg 法碼重量之力平衡實驗。。</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 購買毫克法碼(1、2、5、10、20) mg 2 組, 追溯後作為微力追溯用途、進行微力模組電路設計。</li> <li>● 100/03 安裝電容式微力 sensor 與電阻式探針電路設計、毫克法碼(1、2、5、10、20) mg 2 組,到貨,追溯後作為微力追溯用途。100/04. 完成毫克法碼(1、2、5、10、20) mg 質量追溯,及微力感應元件初步校正。</li> <li>● 100/06 (1)完成多軸差動電容感測電路設計及委外製作。(2)完成靜電力追溯量測,分別由雷射干涉儀、精密電容電橋與電壓計完成了位移、電容與電壓之量測。(3)完成電容感測式微力感測器元件(Femtotools FT_S540)之力量校正實驗,實驗中之力量標準為微量天平之電磁補償力,追溯至質量標準與重力加速度 g 值。</li> <li>● 100/07 完成電容板製作,準備電容板鍍金。100/08 完成 1 mg 法碼重力與 10 <math>\mu</math>N 靜電力平衡實驗。100/09 準備 APMF 微力報告 9/18~9/23 參加 APMF 會議。10/09 進行微力傳遞件特性研究。進行電極設計並解決施力反應 transient 問題。100/10 進行 11 月份力量傳感元件測試準備與機構準備,及進行靜電力平衡長期穩定度測試。100/11 完成微力傳感器(傳遞標準)之力常數量測,施力範圍(1 to 100) <math>\mu</math>N。</li> <li>● 100/11 進行 VME-bus 至 IPC 連接 IO 板採購</li> <li>● 100/12 完成 AFM 探針力常數量測。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 無差異</li> </ul>

## 2. 薄膜結構與特性量測標準追溯分項計畫

計畫目標	目標達成程度	差異檢討
<p>(一) 薄膜結構參數量測標準及參考物質質量測技術建立</p> <p>1. 單一線寬之 Cross Section LWR/LER 量測技術研究。</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 100/02 (1)進行Linewidth系統所需標準件採購，以完成採購程序。(2)進行分包研究”AFM 探頭形貌線上檢測與修正方法”。</li> <li>(3)拜訪交大李連忠博士，討論 AFM 量測技術。</li> <li>● 100/04 進行旋轉 180 度擬合方法取樣測試</li> <li>● 100/08 進行擬合程式設計，完成 DI 量測影像數據檔案讀取，進行 2D 擬合方法程式設計。</li> <li>● 100/09 完成 2D 擬合程式設計方法與步驟。</li> <li>● 100/11 完成 2D 擬合與 LER/LWR 計算程式。</li> <li>● 100.11~12 完成 LER/LWR (Cross -Section) 最佳量測能力研究報告。100/12 進行 LWR 重複量測測試。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 無差異</li> </ul>
<p>2. 50 nm 線寬量測系統建製-量測方程式及主要不確定度源。</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 100/03 (1)進行 AFM 的技術討論活動，邀請 Bruker 公司介紹 ICON AFM 功能。(2) 完成日本 NTT 採買三片階高標準片，尺寸為 50 nm、1000 nm、原子層階高試片。(3)完成國外追溯(PTB) 70 nm 階高一件。</li> <li>● 100/05 (1)完成 AFM 機台校驗 (X、Y、Z) 軸。(2)推導量測方程式。</li> <li>● 100/07 完成影像擬合程式副程式模組規畫；進行擬合程式所需影像量測。</li> <li>● 100/08 完成轉委託”AFM 探頭形貌線上檢測與修正方法” 期中報告會議與技術討論。</li> <li>● 100/10 AFM 掃描量測 Supracon 之 AFM - CD 標準件線寬 50 nm-800 nm。確認量測 crystal lattice AFM 應具有之規格。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 無差異</li> </ul>

計畫目標	目標達成程度	差異檢討
(二) 薄膜表面特徵量測標準技術建立	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 100/01 (1)TSMC 超薄膜多層膜 (HfO<sub>2</sub>/SiO<sub>2</sub>/Si)分析完成。(2) 退火薄膜 2.5 nm HfO<sub>2</sub> 的 XPS 分峰分析。100/02 (1) 委託中興大學 ESCA 實驗室進行 HfO<sub>2</sub> 超薄膜 Angle-Resolved XPS 光電子能譜實驗，並協同操作以瞭解分析過程。(2) TSMC 超薄膜多層膜結構(HfO<sub>2</sub>/SiO<sub>2</sub>/Si)分析完成。100/03 (1) 借用清大實驗室完成 HfO<sub>2</sub> 試片真空退火(RTA~500C, 700C, 900C)，以進行薄膜應力 X-ray 量測比較。(2)量測 Tungsten 與 HfO<sub>2</sub> 薄膜作比較，顯示由於 HfO<sub>2</sub> 薄膜的材料特性具多晶優選取向(textured)，應選取適當的平面 phi 角入射再量測。(3) 初步分析 Angle-resolved XPS 結果，由於入射角度與膜厚有關，強度重疊的情況下無法作縱深分析，改以 C<sub>60</sub> etching XPS(委託中興大學光電子能譜實驗室)探討對 5 nm HfO<sub>2</sub> 膜厚的縱深與成分結果。</li> <li>● 100/04 (1) 分析 HfO<sub>2</sub> 的 C<sub>60</sub> etching XPS 元素成分改變以推斷縱深結果。(2)分析 RTA 退火 HfO<sub>2</sub> 試片的 Psi stress 應力量測，摒除優選取向，因此多晶薄膜材料(a) XRD 不具明顯半高寬及強度比。(b)平面旋轉量測 (Phi)，試片亦無一致性。(3)分析退火殘留應力，以 GIXRD 作 Psi 傾斜的方式，以軟體帶出初步結果並計算，結果有趨勢性。</li> <li>● 100/05 完成量測及分析退火 50 nm HfO<sub>2</sub> 殘留應力，以 Psi 傾斜的方式進行 GIXRD 量測，所得 stress 約為 220 MPa。100/07 NIST 客座，進行 Porous Meterial 的分壓量測，實驗設置的架構了解。</li> <li>● 100/08 (1) NIST 客座，實驗結果整理與分析。(2) 參加 2011 IEEE NANO Conference</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 無差異</li> </ul>

計畫目標	目標達成程度	差異檢討
	<p>(Poster presentation, 8/14~ 8/19)。(3)分別參觀 Dr. Germer &amp; Dr. Sung, Li Piin 的散射光量測系統(位於不同實驗室), 學習 NIST 在系統架設上的經驗與設計原理, 做為台灣與 NIST 在散射光量測系統上溝通的橋梁。</p> <p>10010 JCCE 及台灣奈米期刊文章撰寫。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>● 100/02 完成「2010 奈米檢測能力問卷統計報告」。</li> </ul>	
<p>1. 晶圓表面散射光量測系統分析(系統查驗)。</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 100/01 Solidworks 繪圖確認 POW 系統角度轉換程式, 當入射角等於反射角時, 結果正確; 若入射角不等於反射角時, 結果錯誤。</li> <li>100/02 (1)NIST 專家宋麗品博士討論 POW 系統量測數據與理論乖離問題。(2) 產出 250 nm 粒徑之 wafer 兩片。</li> <li>● 100/03 (1) 完成晶圓表面奈米粒子粒徑量測系統, 新建系統查驗報告。(2)與坦聯企業討論 POW 系統自動化需求、規格修改。規格為: (a) 4 軸旋轉 2 軸手動 XY, 4 軸控制器; (b)手動 detector 昇降傾斜移動; (c) 樣品真空吸附治具可前後微調 10 mm。</li> <li>● 100/04 (1)完成量測系統審查意見回覆單, 更新系統管制圖查核數據至大於 15 筆。</li> <li>100/05 (1)更新李佩元與方承彥委員之量測系統審查意見回覆單。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 無差異</li> </ul>
<p>2. 晶圓表面 30 ~ 60 nm 微粒分佈量測研究。</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 100/04 偏振散射光量測系統應用於晶圓表面粗糙度量測之文獻研讀 請購複雜多軸自動角度平台。</li> <li>● 100/07 (1)安裝複雜多軸自動角度平台。(2) 研讀 ASTM 之 BRDF 測試方法。</li> <li>● 100/08(1)複雜多軸自動角度平台架設完成。(2)與 NIST 有關專家進行雙向溝通, 吸取 NIST 在系統架設上的經驗與設計原理, 進一步確認理論的合理性與適切性, 以及量</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 無差異</li> </ul>

計畫目標	目標達成程度	差異檢討
	<p>測與理論的差異性。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>● 100/09 請購光路校準用之護目鏡。</li> <li>● 100/10 (1)進行複雜多軸自動角度平台之光路對準。100/11 (1)進行晶圓表面 100 nm 微粒分佈量測。(2) 以已知偏振方向之光學元件測試 eta 角正確程度。100/12 進行不同粗糙度之標準片量測與探討。</li> </ul>	
<p>(三) 奈米薄膜機電特性與化學性質量測標準技術建立</p> <p>1. 薄膜拉伸量測技術 (Thickness ≤ 500 nm)。</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 100/02 薄膜附著力試片製作前置作業,厚度小於 500 nm 的金屬與高分子薄膜。進行奈米機械性質量測系統附著力夾具之設計。</li> <li>100/03 微奈米功能性量測薄膜試片前製作</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 無差異</li> </ul>

計 畫 目 標	目 標 達 成 程 度	差異檢討

### 3.奈米國際量測與產品標準推動分項

計畫目標	目標達成程度	差異檢討
<p>1 奈米諮議會持續運作，整合國內的奈米標準的意見與需求。</p> <p>2.規劃向 ISO 或 IEC 或 VAMAS 提案項目。</p>	<p>一、TNSC：</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>● 完成 TNSC 標準/技術報告/技術規範之審核流程及標準、技術規範、技術報告、工作組草案與一般性等文件的編碼規劃；同時完成標準流程之文書表單 A~C。</li> <li>● 秘書處完成兩份 committee drafts 文書處理作業，並與本月透過正式公文發函寄送 TWA1(CD1000001)與 TWA2(CD2000001) 兩份草案文件給各 TNSC 委員作申請標準作業流程意見回饋。</li> <li>● 3 月 17 日於台北召開 TNSC 會議，會議中完成 TNSC 主席交接 各 TWA 的工作報告與未來工作規劃、秘書處報告、TNSC 標準流程確認、兩份 CD 通過諮詢階段投票、三個新的 TNSC 會員加入及決議未來 TNSC 每年開兩次會議等結論。</li> <li>● ISO TC 229 &amp; IEC TC 113 WG3：註冊 ISO TC 229 &amp; IEC TC 113 WG3 五月份會議，並且針對全世界奈米塗佈公司(96 家)進行整理，特別針對與電子電機產品之製造整理為會議中報告議題與參考。</li> <li>● 完成 TNSC 標準程序文件化及文件編碼原則，經過 TNSC 委員以電子郵件確認後進行作業。</li> <li>● 參加台灣奈米技術產業發展協會(TANIDA)會議，並於會中針對標準活動的推動現況與國際發展現況進行報告與說明。</li> <li>● 收集與分析 6 份 ASTM 現有奈米標準。</li> <li>● 規劃 TNSC 1,2,3,4 工作組聯合會議，100/9/29 舉行台灣奈米標準技術諮議會第一二三四工作組會議第一次聯合會議，針對 Nano Labeling task force、ISO 回饋意見及國內奈</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 無差異</li> </ul>



計畫目標	目標達成程度	差異檢討
	<p>米標準需求建議與討論。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>● 100/12/13 於台北召開第二次 TNSC 會議,會議中各 TWA 的工作報告與未來工作規劃、秘書處報告、TNSC 標準流程細節確認、確認一份文件通過最後投票成為 TNSC 標準。</li> </ul> <p>二、TWA1：</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>● 完成並確認 ISO TS 27687 奈米技術 – 奈米體(nano-objects)的術語與定義 — 奈米顆粒 (nanoparticle)、奈米纖維 (nanofibre) 及奈米板 (nanoplate) 之第 10 版本奈米相關用語標準,在經過 TWA1 各專家確認後,成為工作組草案(CD1000001)並送交 TNSC 秘書處申請成為 TNSC 標準。</li> <li>● 8 月份完成 ISO/TS 27687:2008 — Nanotechnologies — Terminology and definitions for nano-objects —Nanoparticle, nanofibre and nanoplate 中文化文件修訂至第 11 版;完稿後送交工作組委員審閱定稿後,提送 TNSC 委員進行投票表決成 TNSC 之標準。</li> <li>● 完成 ISO/TS 80004-3:2010 — Nanotechnologies — Vocabulary — Part 3: Carbon nano-objects 中文化文件修訂至第 3 版。</li> <li>● 12 月份完成 ISO/TS 27687:2008 — Nanotechnologies — Terminology and definitions for nano-objects —Nanoparticle, nanofibre and nanoplate 完稿後,提送 TNSC 委員進行最後投票表決。</li> </ul> <p>三、TWA2：</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>● 完成並確認表面粒子尺度測定法 - 掃描式電子顯微鏡(草案),在經過 TWA2 各專家確認後,成為工作組草案(CD2000001)並送</li> </ul>	

計 畫 目 標	目 標 達 成 程 度	差異檢討
<p>3.重點參加 ISO/IEC/VAMAS/ANF 之 TC 相關會議，國際奈米相關標準文件資料之蒐集整理，更新國際奈米相關標準之發展資訊、徵詢國內對發展中提案意見、並依各個國際標準組織規定的流程對提案作意見陳述或修改提案內容。</p>	<p>交 TNSC 秘書處申請成為 TNSC 標準。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>● 9 月份，針對台灣奈米標準技術諮議會第一份標準文件 “奈米產品：表面粒子尺度測定法 - 掃描式電子顯微鏡” 進行最後一階段投票，為期一個月。</li> <li>● 12 月份標準文件 “奈米產品：表面粒子尺度測定法 - 掃描式電子顯微鏡” 確認投票結果，成為 TNSC 標準。</li> </ul> <p>四、TWA3 &amp; TWA4</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>● 進行ISO/IEC國際會議分享討論會議，並共同針對EHS等相關議題討論Task Force 推動標準產生。</li> </ul> <p>五、參加國際組織會議：</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>● 參加上半年 IEC/TC 113/WG3 Performance assessment Padua, Italy , May 10 (Tue.) – 12 (Thu.) 2011, 並報告 IEC project 編號 PT-113 " QUALITY ASSESSMENT FOR SURFACE ENGINEERED NANO ELECTROTECHNICAL PRODUCTS "草案的規劃狀況並與專家討論後續發展方向</li> <li>● 參加上半年 12th International Meeting of ISO/TC 229 “Nanotechnologies” 16th – 20th May 2011, Saint Petersburg, Russian Federation, 並與專家討論草案各國的評論與修改。</li> <li>● 出席 VAMAS SC36 會議，參與國際標準活動，收集奈米標準發展資料。</li> <li>● 100/9/29 進行 IEC TC 113 PT-113 計畫 “ QUALITY ASSESSMENT FOR NANO ELECTROTECHNICAL PRODUCTS ” 第一次網路視訊會議。</li> <li>● 參加下半年 IEC/TC 113/WG3 Performance assessment 深圳,中國 , Nov. 7 – 11 2011,</li> </ul>	

計 畫 目 標	目 標 達 成 程 度	差異檢討
<p>4.奈米標準文件制定。</p>	<p>並報告 IEC project 編號 PT-113 "QUALITY ASSESSMENT FOR NANO ELECTROTECHNICAL PRODUCTS "第一版草案並與專家討論修正及後續發展。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>● 參加下半年 13th International Meeting of ISO/TC 229 “Nanotechnologies” Johnnasburg, South Africa, Nov. 14-18 2011, Saint Petersburg, Russian Federation, 並與專家討論草案各國的評論與修改。</li> </ul> <p>六、規範/標準擬訂工作：</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>● 完成TNSC標準：奈米產品：表面粒子尺度測定法 - 掃描式電子顯微鏡 (NANOPRODUCT: METHOD OF DIMENSIONAL MEASUREMENT OF NANOPARTICLES ON SURFACE - SCANNING ELECTRON MICROSCOPE)</li> <li>● 完成 TNSC 標準草案：奈米技術 – 奈米體 (nano-objects)的術語與定義 — 奈米顆粒 (nanoparticle)、奈米纖維 (nanofibre) 及奈米板 (nanoplate) 之奈米相關用語標準 (CD1000001), 完成奈米標準 2 件 TNSC 術語/命名標準委員會階段 (Committee stage) 草案並接續通過 TNSC 委員意見徵詢階段 (Enquiry Stage)。</li> </ul> <p>七、網站/資料庫維持工作：</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>● 網頁版面小幅修改、增列 T-文件資料庫、並持續維持及更新相關活動資料。</li> <li>● 完成奈米標準諮議會 TNSC 網頁與環境奈米科技知識平台的網頁連結。</li> </ul> <p>八：其他：</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>● 參加台灣奈米技術產業發展協會各季會議，報告標準進展。</li> <li>● 完成ANF report，主要摘要綜整ANF各會</li> </ul>	

計畫目標	目標達成程度	差異檢討
	員經濟體最近、進行中與將進行的奈米標準化相關活動。	

(三).配合計畫與措施

單位：仟元

計畫名稱	合作單位	合作計畫內容	經費	執行情形	困難與改進情形
AFM 探頭形貌線上檢測與修正方法	成功大學材料科學及工程學系 劉浩志教授	AFM 量測薄膜表面特徵技術之探針結構參數研究。	400	本計畫藉由實驗與模擬之方式，探討探針如何受磨耗而變化，並設法減少探針磨耗帶來的影響，包含(1)實驗方面：藉由改善探針表面的性質，在探針上浸鍍(Dip coat)一疏水性自組裝單分子層薄膜(Self-assembled Monolayer, SAM)，以降低毛細力的影響，減弱探針接觸到試片時的力道，減少磨耗的產生。FDTS 為本實驗所選擇具備疏水性的 SAM 塗層材料，先在矽晶圓上浸鍍 SAM 塗層，經水接觸角及 XPS 圖譜分析比較後，最佳化浸鍍的實驗參數。再將 SAM 塗層浸鍍到 AFM 探針上，與未塗層探針一起做輕敲式掃描(Tapping mode)的磨耗測試。(2)模擬方面：利用儀器觀察掃描試片的過程，探針所受到磨耗的情形，然後利用有限元素分析的方法，來探討不同針型受磨耗之後的變化，並且利用不同的降伏標準(yield criteria)來模擬與討論探討針型是如何的受磨耗而變化，最後模擬目前市面上商用鍍膜探針的使用情形，分析鍍 Pt 膜探針與未鍍 Pt 膜探針的磨耗機制，討論探針鍍膜之後是否可以減緩針頭曲率半徑增加的速度。	無

## 二、資源運用情形

### (一).人力運用情形

#### 1.人力配置

主持人	分 項 計 畫 ( 名 稱 及 主 持 人 )	預 計 人 年	實 際 人 年
計畫主持人：張啟生 協同主持人：傅尉恩	(1).奈米粒子/線之尺寸形貌與功能性量測標準追溯分項計畫主持人：劉惠中	5.83	6.02
	(2).薄膜結構與特性量測標準追溯分項計畫主持人：傅尉恩	6.92	7.32
	(3).奈米國際量測與產品標準推動分項計畫主持人：姚斌誠	1.25	1.31
		14	14.65

#### 2.計畫人力

單位：人年

年度	分類 狀況	職稱					學歷					合計
		研究員級以上	副研究員級	助理研究員級	研究助理員級	研究助理員級以下	博士	碩士	學士	專科	其他	
100	預計	12.66	1.34				7	4.9	1.9	0.2		14
	實際	10.21	4.44				7.1	5.34	1.98	0.23		14.65

註：本表採用工研院職級計算。

### (二).設備購置與利用情形

見附件一、新台幣參百萬以上儀器設備清單。

(三).經費運用情形

1.歲出預算執行情形

單位：新台幣千元

會計科目	預算金額	佔預算 %	決算金額	佔決算 %	差異說明
(一)經常支出					
1.直接費用					
(1)直接薪資	18,604	44.6	18,604	44.6	
(2)管理費	4,651	11.2	4,651	11.2	
(3)其他直接費用	17,984	43.2	17,984	43.2	
2.公費	233	0.6	233	0.6	
經常支出小計	41,472	99.6	41,472	99.6	
(二)資本支出					
1.土地					
2.房屋建築及設備					
3.機械設備					
4.交通運輸設備					
5.資訊設備(軟體購置)					
6.雜項設備					
7.其他權利	200	0.4	163	0.4	
資本支出小計	200	0.4	163	0.4	
合計	41,672	100	41,635	100	

## 2.歲入繳庫情形

單位：新台幣元

科 目	本 年 度 預 算 數	本 年 度 實 際 數	差 異 說 明
財產收入	-		
不動產租金	-		
動產租金	-		
廢舊物資售價	-		
專利授權金	-	95,984	
權利金	-		
技術授權	-	224,200	
製程使用	-		
其他 - 專戶利息收入	-		
罰金罰鍰收入	-	95	
罰金罰鍰	-		
其他收入	-		
供應收入 - 資料書刊費	-		
服務收入 - 教育學術服務 技術服務	-		
審查費 -	-		
業界合作廠商配合款	-		
收回以前年度歲出	-		
其他雜項	-		
合 計	-	320,279	

註：此表所列，為技轉簽約並實際收款後，上繳國庫的金額。

### 三、人力培訓情形

#### (一) 國外出差

1. 參加 International Symposium on Measurement Technology and Intelligent Instruments 會議發表論文及參訪 KRISS (陳國棟副研究員, 100.06.28~100.07.05)。

至韓國大田出差, 主要有兩項任務, 第一項是參加會議 ISMTII2011 及口頭報告, 第二項則是至 KRISS 的材料量測中心參觀奈米實驗室。發表內容一共有兩篇, 其一為利用小角散射技術量測奈米級的光柵結構, 另外一為利用低掠角 X-ray 反射儀及 X-ray 光能譜儀量測氧化鉛薄膜分析決定膜厚介面。除此之外, 在這次會議中也有許多非常好的演講以及參觀 KAIST 和 KIMM 的實驗室, 在對未來工作上或是研究上都有很大的啟發及幫助。KRISS 參觀實驗室部份, 包括 SEM, TEM 實驗室, 拉伸實驗室, 材料分析(X-ray 及 SIMS)實驗室, 以及粒子(DMA)實驗室, 收穫豐盛。韓國是自行製作粒子, 故對量測參數的掌握投入極深, 值得我們學習, 但在量測小尺寸方面, 卻尚未成熟。如有合作機會, 可以互相交流。

2. 參加 2011-APMF 會議發表論文。(潘小晞資深研究員, 100.09.18~100.09.23 )

這次任務是發表論文及主持力矩單元的論文技術討論。在微力標準的研究上, 用微力偵測元件可作為微力傳感器之用途。常用的力量傳感器有電阻荷重元式及電容傳感器等多種。而量測中心在 2010 年建立了微力機構, 在 10 微牛頓下具有幾奈牛頓的施力解析度。對於微力標準的傳遞, 我們使用電容式的微力偵測元件作為傳遞標準。論文介紹使用 FT\_S540 電容式的微力偵測元件和精密天平 UMT5 作施力比較, 同時以雷射干涉儀作施力時位移偵測。除了測得力量感測器和天平讀值也測定微力偵測元件彈力常數。

亦和韓國 KRISS 之 Min-Seok Kim(金玟錫)博討論微力系統以探針作傳遞件之可行性。金博士對於 CMS 所使用的模組化探針很感興趣, 詢問那裡構買並表示日後願意作比對。而在微力機構方面來自上海的倪守忠及 NIM 的胡剛等均有詢問。NIM 將在 2011 年 12 月執行他們的微力計劃, 期間是四年不含人事費每年近 700 萬台幣。表現出他們追求卓越的決心。

參觀陝西省計量院部份, 其實驗室建築老舊, 新的實驗正興建中。而他們的任務有很測試需求, 尤其是大流量 2000 升容積檢定令人印象深刻。另外是老式的塊規干涉儀, 經過光源改進為 633 nm 波長雷射及機構修改後; 參加最近的亞太地區比對仍有不錯的結果。

最後韓國 KRISS 鄭鎮完博士建議大會: 2013 之 APMF 會議在台灣舉辦。

3. 拜訪德國 PTB 及參加研討會-2011 Frontiers of Characterization and Metrology for



Nanoelectronics(FCMN)並發表論文。(張詠晴副研究員, 100.05.18~100.05.29)

參訪 Bessy 同步輻射中心的 PTB Department 7.2\_Radiometry with Synchrotron Radiation 及 Department 7.11\_X-ray Metrology。瞭解 PTB 如何做光源檢測 (Metrology Light Source, MLS), PTB 也是世界上第一個以 electron storage ring 做低能量光源計量的單位。使用 Coherent Synchrotron Radiation, CSR 包含的兩個波段 (Far-IR & THz region), 與其他參考光源做對比, 然後將調整光路所使用的 bending magnet 做最佳化 (optimize)。另外, Soft X-ray (~1841 eV < Cu tube) 可用於分辨真正薄膜與 Si 基板的介面 (<Si 基板 k-edge 的能量)。再配合 monochromater 與 plane mirror 加強 Soft X-ray 光源的準直性 (high spectral purity & low beam divergence), 加強 X-Ray Reflectivity 在多層薄膜分析的精準度。

2011 Frontiers of Characterization and Metrology for Nanoelectronics (2011 FCMN), 其中很多主題都與 3D 檢測有關, 如 3D video (CD-SEM)、Muller Matrix Ellipsometry 等, 又以量測介面 (interfacial layer) 最為挑戰性。因為「More than Moore」, 因此新穎材料, 如: Graphene, 幾乎每個 talk 都談到, 而檢測計算層數 (layer) 的工具如: Raman, LEEM, Ellipsometry。而針對 CVD 製程的 Graphene 檢測則利用 Dark-field Tem (DF Tem)。在 device 的建構上, 以 Graphene spin 可取代原本 Silicon based 的元件, 形成 Carbon based 元件, 目的是整合 Frond-end 與 Back-end 為一體, 提高 Channel 的反應速度。其他影像檢測如: Atom Probe Tomography, 電性檢測如: IETS (Inelastic Electron Tunneling Spectroscopy)。其中有些 talk 提到, 檢測的影像其實有可能是扭曲的事實 (Detected images are sometimes distorted realities.)。

4. 參加2011 MNC 研討會與訪問京都大學奈/微米系統實驗室(Nano/Micro System Lab.) (吳忠霖研究員, 100.10.23~100.10.29)

本次研討會發表的種類文章主題計有: (1)石墨烯, (2)微系統技術與微機電, (3)生醫微機電晶片系統, (4)奈米碳材, (5)分子變異與微奈米結構的分子自組裝, (6)新式電晶體, (7)奈米材料, (8)新功能晶片, (9)微影與計量, (10)新概念晶片, (11)奈米晶片, (12)奈米製造, (13)奈米印術黃光微影技術, (14)光阻材料與製程, (15)奈米工具等, 而本次所發表的文章屬於奈米工具與微系統技術等領域類別, 分別為 27P-11-91 與 27P-11-131。由今年被接受的文章統計中發現, 目前奈米碳管與石墨烯等奈米材料應用發表的文章數目明顯增加。相對的, 未來奈米材料的計量應該會慢慢被重視, 各種奈米材料所需的計量特性或許可為注意的發展方向之一。在量測材料特性上所需使用的奈米工具也有一定的文章數量, 如採用 AFM 量測力量、TEM 進行奈米材料形貌觀察及 X-Ray 與 DB-FIB System 進行電性量測等。相信在未來相關研究所須使用的計量量測系統需求亦會逐步增加。

另外，趁參與在京都舉辦的研討會順道拜訪京都大學奈/微米系統實驗室。由於之前平井義和博士(Dr. Hirai)曾有過參訪中心力學室的微力與微奈米機械性質量測相關系統，故利用此次機會回訪。主要為拜訪京都大學奈微米系統實驗室的三位教授，實驗室主要負責教授為田畑修(Dr. Tabata)教授，另有土屋智由(Dr. Tsuchiya)准教授，與平井義和助理教授等。該實驗室先前研究過許多薄膜機械性質量測技術，如利用鼓膜測試量測薄膜的機械性質參數-浦松比(Poisson ' s ratio)或採用靜電吸附技術進行微小拉伸試驗量測薄膜的機械性質-楊氏模數等研究。此次則是參觀該實驗室的設備與瞭解目前的研究發展方向。該實驗室目前今年的總經費約 7 千萬日幣，土屋博士亦與日本汽車產業公司合作與協助日本 IEC 的標準制定。除了奈/微米系統實驗室外，也參觀了京都大學的主要半導體設備實驗室，該中心具有完整的黃光微影製程設備，如塗佈機、曝光機、鍍膜系統(CVD)與乾濕蝕刻機台(Deep RIE)等半導體相關研究設備。利用此次機會參訪實驗室瞭解目前國外的研究方向，並與日本京都大學研究人員進行相互交流。除可做為未來計畫規畫的參考外，亦增加未來有共同合作機會的空間。最後，感謝奈米計畫經費支應研討會論文發表與日本京都大學奈/微米系統實驗室提供給予參訪的機會。

5. 參加 IEEE NANO 2011 Conference 發表論文(張詠晴副研究員, 100.08.15~100.08.18)

整體而言此場 IEEE nanotechnology conference 著重於舊材料 (Carbon) 新發現 (Graphene) 的製程及電性分析。會場提供 tutorial 課程，以供了解 Graphene 的性質與應用，內容包括：Summary of salient physical properties, leading graphene synthesis methods and other interesting properties of graphene; update review of current literature on electronic properties of grapheme, such as bandgap, mobility, grapheme nanoribbons and edge structures etc.. 在 Field Effect Transistors (FET) 的應用上，由於 graphene 沒有 bandgap, P-N junction 轉換極容易，控制開關的 standby power 會限制 digital application; 而 zero effective mass 導致粒子加速飽和速度緩慢 (poor velocity saturation), 不利於 RF application, 所以若要改變閘極電壓 (gate voltage) 以控制開關，必須以複合材料取代 pure graphene。

演講所涵蓋的主題包括 " Nanometrology & Characterization " , " EHS (Environmental, Healthy & Safety) Standards " , " Nanomaterials Characterization and Applications " , " Nanoelectronic Devices " , " Energy: Photovoltaic Devices " , " Nanofabrication " , " Nanosensors & Actuators " 等。 EHS standards , ISO TC 229 (since 2005) 主要內容為 Nanotechnologies , 包括三大類別：WG1-Terminology and nomenclature (led by Canada) , WG2-Measurement and characterization (led by Japan) , WG3-Health, safety & environment (led by USA) , 針對 EHS testing method , 持續探討會影響健康和環境的因子。 ASTM E56 (since 2004) 則為 Standards and

guidance for nanotechnology and nanomaterials, 以用來定義奈米科技的專門術語。Dye-sensitized solar cells 中最常應用的 TiO<sub>2</sub> hierarchical pores 為 anatase 相結構, 並且根據 Scherer equation 計算的晶粒大小大致為 27.9 nm, 主要尺寸的 particle 具有高表面積, 次要尺寸的 particle 則扮演內部強化 scattering 的角色。

6. 參加 IEC TC 113 WG3 會議 (姚斌誠資深研究員, 100.05.08~100.05.12)

這次會議由意大利國家研究委員會 (CNR) 在 Padova 的機構主辦, CNR 是意大利最大的公共研究機構, 且為意大利唯一的一個在研究部下的多學科研究機構, 約有 110 部門分佈全意大利。意大利並不活躍於國際標準制定的活動, 目前有一個提案有關於光子晶體的名詞術語。這次會議共來自美國、日本、德國、韓國、中國、義大利、挪威... 等國家約二十位代表參加, 會議由 TC 113 WG3 主席 Werner Bergholz 主持。會議中我的主要的活動為報告了 ANF(台灣)的草案編號 PT 111(原編號 PT91) "General quality assessment for surface engineered nano electrotechnical products". 目前此草案是以 PWI(preliminary working item)型式登記在 IEC 資料庫上, WG3 很多的草案是此種方式立案, 因為可有 33 月左右的工作期, 如果直接以新工作提案(NWI)的方式提案, 只有 24 月左右的工作期, 依經驗, 很困難在這麼短的時間作完有共識的標準, 此草案是主要是希望與建立奈米電機產品的通則性的檢驗標準, 這個部分可與奈米標章的需求相結合, 經過熱烈討論, 與會專家認為可擴展產品的範圍至一般產品(不限表面有奈米的產品), 但奈米材料可能需篩選, 同時部分專家認為此草案應定位為技術報告(美國), 不過尚無確切結論, 建議在下次會議前, 每個月舉行一次 web conference 討論, 再做更細節的規劃與討論, 其它為各草案修改的技術討論, 其中比較重要的想法是 Graphene 可能為下一階段重要的標準制定方向;另外韓國想在 IEC 成立 printing electronics 的 TC, 不過顯然沒獲德國支持, WG3 主席反而建議在 TC 113 下成立 WG, 韓國代表表示將帶回討論。

7. 參加 ISO TC 229 WG2 及 TC 會議 (姚斌誠資深研究員, 100.05.13~100.05.22)

此次大會在俄羅斯的聖彼得堡 Sokos 旅館舉行, 這次的會議由俄羅斯技術規範和計量聯邦機構 (FEDERAL AGENCY on TECHNICAL REGULATING on METROLOGY, GOST R)和 RUSNANO(Russian Cooperation on Nanotechnology)主辦, 共來自美國、德國、日本、韓國、中國等約 23 個國家及組織單位和約兩百多位代表參加。開幕式由俄羅斯 GOST R 與 RUSNANO 的副主任致詞, 他們表示俄羅斯將加強其科技的主導力與國際接軌程度, 而標準的參與與發展為其中重要的一部分。

在 ISO TC229 之進展上, 除了會員外, 共有 25 個 internal liaisons 和 6 個 external liaisons 加入, 自 2005 年 TC 229 成立以來已有 34 個 active projects, 5 個計畫出

版，有 7 個計畫接近出版階段(投票中)。會議中有幾個共通議題的討論，其中一個為奈米物質 labeling 的計畫，目前此計畫在歐盟的歐洲標準組織(CEN) TC 352 下制定，根據 ISO 與 CEN 簽訂的 Vienna 合作協議，雙方不作重複的題目並由一方主導計畫進行，但是因此議題與技術性貿易障礙(TBT)關聯性甚大，多國代表發言(尤其美國)要求此案應由 ISO 主導較能達到世界共識避免爭議，會後決議向 CEN 正式要求 transfer 計畫到 ISO，後續仍需注意此案的發展。我參加之分組會議為 WG2(量測與特性分析)，大約有來自於 11 個國家的 30 個專家與 2 個聯盟組織代表參加聯合工作小組 2 (JWG2) 的討論，共 13 個計畫。

#### 8. 出席 VAMAS SC36 會議 (張啟生副組長，100.05.8~100.05.15)

2011 VAMAS 由 NSF (National Science Foundation, USA)贊助舉辦 Technical Workshop: Materials Metrology and Sustainability。主要討論能源與材料永續運用。摘要報告如下。

##### Brazilian Initiatives in Materials Science: an Overview

巴西自 2007-2010 起開始計畫性的研發活動，訂定優先順序有 Expansion of the National Science, Technology and Innovation (STI) System ; Technological Innovation in companies ; R&D in strategic areas ; STI for social development，以彌補過去科技發展上的缺點，如研發分散及私人公司研發不足等。

##### Implications of the Increased Scarcity of Mineral-Based Materials on the Field of Materials Science and Engineering

分析資源礦產的過去及現有狀況：偏狹的開採 集中的消耗 無法恢復的浪費。未來應在 people、planet、prosperity 三者兼得下發展。

##### Materials Metrology and Metrology for Materials Testing

Calibration Lab 或 Testing Lab ? Materials Metrology 比較接近後者。特別是實驗室認證組織，往往對於兩者給予不同的規格與證書而造成許多問題，例如對於 electrical energy meters 而言，性能校正屬於 Calibration Lab，但評估影響因子則屬於 Testing Lab，在德國須要取得兩個認證才能執行業務。報告提到，也許使用 Measurement Lab 比較好，不特別強調實驗室屬於校正或測試。

##### Metrics and Tools for Sustainability Assessment

NIST Engineering Lab 發展了一套很有趣的工具 - Sustainability Measurement，稱為 BEES (Building for Environment and Economic Sustainability)，藉由設定輸入因子，可以定量地評估導入或發展新技術或新產品時的 Economic Well-being、Environment Quality、Social Justice。可以在網站試用

[www.nist.gov/el/economics/BEESSoftware.cfm](http://www.nist.gov/el/economics/BEESSoftware.cfm)。

### Carbon Material Science: from Transistors to Agriculture

介紹 CNT 的量測、SWNT 與環境的關係，甚至加入土壤中成為類似 Indian Black Earth 可促進作物生產！？（此與歐盟指令的發展背道而馳）

### Photovoltaic Solar Cell Material

從介紹太陽能的原理開始，推論符合國家及全球實際需求下的鋪設面積。整理出量測分析工具有 Material/Surface composition: SIMS, AES, XPS---etc。

VAMAS 36th Steering Committee meeting 詳細的會議資訊，將公布於 VAMAS 網站，16 個 TWA 仍有活動，年度報告可詳見 VAMAS 網頁。

## 9. 參加 IEC TC 113 WG3 會議（姚斌誠資深研究員，100.11.07~100.11.12）

這次會議由中國國家奈米科學中心與深圳的標準化研究院聯合主辦，國家奈米科學中心是中國科學院與教育部共同建設，於 2003 年 12 月 31 日正式成立的具有獨立事業法人資格的全額撥款直屬事業單位。奈米中心是全國奈米技術標準化技術委員會奈米材料分技術委員會（SAC/TC279/SC1）、中國合格評定國家認可委員會（CNAS）實驗室技術委員會納米專業委員會、中國微米奈米技術學會奈米科學技術分會的掛靠單位。這次會議共來自美國、日本、德國、韓國、中國、馬來西亞、俄羅斯...等國家約二十位代表參加，會議由 TC 113 WG3 主席 Werner Bergholz 主持。會議中我的主要的活動為報告了 ANF(台灣)主導計畫編號 PT 111 "General quality assessment for nano electrotechnical products"的第一版工作草案，此草案是主要是希望與建立奈米電機產品的通則性的檢驗標準，這個部分可與奈米標章的需求相結合，經過熱烈討論，與會專家認為第一版工作草案需做小幅修正，並於 2012 二月前送出修正版本，於 2012 五月份會議再次討論，在確定此草案應定位為技術報告(TR)或技術規範(TS)，建議在下次會議前，舉行定期 web conference 討論，再做更細節的規劃與討論，其它為各草案修改的技術討論，其中比較重要的是韓國已成功成立 IEC printing electronics 的 TC (TC 119)並擔任秘書處，其秘書長恰為 IEC TC 113 代表，因此表達兩個 TC 互為聯盟以利未來合作。另外本次會議開始有奈米電池陽極的量測方法(德國)與 PV 產品品質方法(美國)等新提案，IEC TC 113 是否會朝奈米產品端相關標準發展，值得觀察

## 10. 參加 ISO TC 229 WG2 及 TC 會議（姚斌誠資深研究員，100.11.13~100.11.20）

第十三屆 ISO/TC229 會議，Nov.14 日至 18 日在南非約翰尼斯堡 Gallagher 會展中心舉行。共有約 150 名來自 23 個國家的代表與會，這是由南非標準局(SABS)主辦的會議。SABS 執行長 Sadhvir Bissoon 博士致歡迎辭，其次由新興研究領域

和基礎設施處/科學技術部總經理 Daniel Adams 博士致詞。最後由教授 Mary Gulumian from NIOH (奈米材料的健康與安全)，指出奈米的 EHS 在南非金礦採礦業的重要性。

這次會議除了術語和術語、量測、EHS 和材料規格的四個工作組外，也增加不少這些工作組之間的聯合會議組織。

在 ISO TC229 之進展上,除了會員外,共有 27 個 internal liaisons 和 9 個 external liaisons 加入,自 2005 年 TC 229 成立以來已有 32 個 active projects, 15 個計畫出版。上次會議有關奈米物質 labeling 的計畫(目前此計畫在.歐盟的歐洲標準組織 (CEN) TC 352 下制定),決議向 CEN 正式要求 transfer 計畫到 ISO,但 ISO 秘書處並無動作,此次會議結論仍決議持續要求。我參加之分組會議為 WG2(量測與特性分析),主席為 NMIJ 副主任 Toshiyuki FUJIMOTO,大約有來自於 11 個國家的 30 個專家與 2 個聯盟組織代表參加聯合工作小組 2 (JWG2) 的討論,目前有 14 個計畫,其中一個被認為最快成為第一個奈米國際標準的計畫: PG10 Nanomaterials — Quantification of nano-object release from powders by generation of aerosols(德國),因為美國 ANSI 的反對並提議改為技術規範(TS),經過激烈的討論,最後決議改為 TS 並重新投票,因此第一個奈米國際標準還得再等,制定 ISO 國際標準著實不易。

## (二).國外客座研究

1. 赴美國 National Institute of Standards and Technology(NIST)從事三個月客座研究。題目為「X-ray Porosimetry」。(張詠晴副研究員, 100.06.13~100.09.21)

這次客座研習的部門為 Metrology Material Laboratory (MML) 的 Polymer Division, NIST, 此部門現在發展的重點為利用 co-polymer 的模型解決半導體顯影蝕刻的線寬問題 (Line edge roughness, LER), 主要的分析儀器則是 Synchrotron 和 X 射線小角散射儀 (Small Angle X-ray Scattering, SAXS)。而這次來學習的重點是希望利用我們本身現有的儀器「X 射線反射儀 (X-ray Reflectivity)」量測研究均勻薄膜以外的結構性材料,如:多孔隙薄膜 (polymer 或低介電 low-K 材料)。孔隙薄膜性質包括 adsorption/ desorption hysteresis loop, pore size distribution 和 multilayer electron density profile。多孔隙薄膜以高分子薄膜和低介電薄膜應用最廣,以 pore size 和 連結部分的差異區分不同型態;量測裝置分為三部分,如: Mass flow controller (MFC)、Heating plate 和 UV spectrometer, 量測完的實驗結果進行 data 分析 (single layer structure fitting), 可以得到膜厚、密度及粗糙度,要得到多孔隙薄膜的孔隙率,則觀察孔隙薄膜前後吸附/脫附氣體的密度差異,在已知溶劑物質密度下,根據二元一次方程式解出孔隙率及薄膜實際密度。根據薄膜材料特性,若是吸收氣體會產生膨脹 (swelling effect), 一般而言大於 1% 膜厚膨脹率,則計算得到的

薄膜孔隙率必須經過更正。最後從吸附/脫附曲線加總的遲滯曲線來看，即氣體吸收率 (Toluene uptake) v.s. 氣體分壓，觀察個別氣體分壓下的個別氣體吸收率，目的是求得 Pore Size Distribution (PSD)。也就是將量測結果的積分曲線模擬回推到原本隨分壓改變的方程式，未知數為氣體分壓，然後選擇程式內建 Curve fitting function 進行模擬，依選擇不同的 function 會有不同的模擬曲線，之後將氣體分壓 (P/Po) 經過 Kelvin ' s equation 轉換成 pore size，即可得到一孔隙尺寸分佈圖。

### (三)國際技術交流

1. FY100~FY101舉辦APMP奈米粒徑國際比對與國內實驗室間比對。
2. NIOSH: National Institute for Occupational Safety and Health, USA : 2011撰寫專文 “ Nanoscale Reference Materials for Environmental, Health, and Safety Measurements: Needs, Gaps, and Opportunities ”

### (四)教育推廣

#### 1.國內研究生培訓：

- (1) 龍華科大工程科學所碩士生洪志豪君參與粒子分項 AFM 探針微力追溯研究(100 年 4 月-100 年 12 月)：

以 AFM 探針固定施力範圍(30 nN±10 nN)對奈米壓痕探針作掃瞄研究。使用追溯後原子力顯微鏡掃瞄奈米壓痕探針，決定淺深度之面積函數。再和現行之奈米壓痕作實驗比較。得到的結果和 Oliver 和 Pharr 的理論計算在淺深度 25 奈米以下於硬度及折合模數分別至少有 2 倍及 4 倍的差異。這結果提供了淺深度奈米壓痕研究依個中要參考依據及貢獻。

- (2) 清華大學動機系碩士生黃彥蒲君參與薄膜分項的 AFM 探針磨耗性質量測研究(100 年 1 月-100 年 12 月)：

AFM 量測時之探針形貌，會直接影響量測結果，一般 AFM 探針形貌為近似倒立錐形，量測時，接觸到待測表面，可能只有最前端部份，所以探針尖端愈尖愈容易磨耗，影響磨耗因素如探針移動速度、AFM 量測時之參數設定、量測距離與待測試片之表面粗糙度等，進行研究以統計方法估算各影響因素對量測結果影響。應用在量測 CD 時，可依據研究結果改善探針對量測影響，或將誤差量放入量測不確定評估內。

- a. 完成 AFM 探針磨耗性質量測研究初步模式型分析。
  - b. 完成採購 Tip Check 的採購。
  - c. 完成一般型 AFM Tip 的採購。
  - d. 完成鍍鑽石膜型 AFM Tip 的採購。
  - e. 以一般型 Tip 找出最佳參數設計。
- (3) 台科大機械所碩士生鄭守智君參與薄膜分項的 AFM 應用於機械性質量測研究(100 年 5 月-100 年 12 月)：

AFM 量測時之探針接觸到待測表面，取決於設定之作用力大小，探針型貌，與

探針的材質，探針會在待測表面上產生刮蝕，也對探針尖端產生磨耗，因此，進行研究以探針刮銷的量，估算各影響因素對量測結果影響。

- a. 完成 AFM 應用於機械性質量測研究初步模式型分析。
  - b. 完成採購 Tip Check 的採購。
  - c. 完成 50 nm 線寬的檢測技術訓練。
  - d. 完成 AFM 執行 Lithography 的檢測訓練。
  - e. 完成以 AFM Tip 的力學分析模式。
- (4) 台科大機械所碩士生曾景祥君參與薄膜分項的 XRD 量測技術研究(100 年 1 月-100 年 12 月)：

半導體製程的平坦化技術對於晶圓表面品質極為重要，為了分析研磨(Lapping)技術針對不同製程參數(壓力、轉速及溫度)的影響，實驗上配合一套摩擦力感測器系統(Friction Sensor System, FSS)，並使用 High-resolution 的 XRD(Rocking curve)與表面干涉儀分析目前研磨(Lapping)製程後之表面品質與影響。另一方面也進行高介電二氧化鈣薄膜( $\text{HfO}_2$  thinfilm)的熱處理應力變化分析，以固定 Phi 角做 alignment 及量測以避免非熱應力產生 XRD peak shift，作 Psi Stress 量測分析。

- (5) 中興大學材料所碩士生李家銘君薄膜分項的薄膜應力量測研究(100 年 1 月- 100 年 7 月)：

探討薄膜或奈米碳管材料的結構，並藉助中興大學材料系的水平石英管型高溫爐設備進行研究，協助進行以 XRR 及 XRD 進行薄膜相關量測技術。另外也協助進行及分析  $\text{C60}^+$  etching XPS 對  $\text{HfO}_2$  的 preferential sputtering 現象。

- (6) 中興大學材料所碩士生樊孚君薄膜分項的薄膜應力量測研究(100 年 8 月- 100 年 12 月)：

利用 XRD 搭配 TEM、SAED 以及 HR，獲得應用在相變化記憶體的鍺(Ge)摻雜銻(Sb)一維奈米結構的結晶構造。利用 XRD 分析不同製程對應的結晶相，以此推斷鍺(Ge)摻雜銻(Sb)一維奈米結構的形成的機制，也使用 High-resolution 的 XRD(Rocking curve)進行薄膜基版的曲率(Curve)變化分析及進行 X-ray Reflectivity 的膜厚分析。

- (7) 清華大學奈米與微系統研究所博士生劉育嘉君參與薄膜分項奈米薄膜試片製程實作(100 年 2 月-100 年 12 月)：

委請清華大學動機系博士研究生劉育嘉同學協助有關薄膜鍍膜製程設計與實作。主要工作為協助參與批次量產的測試晶片光罩設計與製程實作，進行部份鍍膜製程。該測試晶片用於探討奈米拉伸與奈米壓痕量測系統的功能性應用，如括痕測試與附著力量測等研究上。

- (8) 國立虎尾科技大學碩士生張青原君參與薄膜分項薄膜機械性質量測研究(100 年 1 月-100 年 7 月)：



本年度委請虎尾科技大學張青源同學研究有關射頻電漿輔助化學氣相沉積合成類鑽碳薄膜(DLC films)及其機械性質。主要使用奈米壓痕量測系統量測薄膜機械性質如壓痕硬度、複合模數、楊氏模數等，與結合菲佐干涉儀獲得類鑽碳薄膜之殘留應力(Residual stress)。並利用表面輪廓儀、原子力顯微鏡獲得薄膜表面之形貌特徵。最後，則利用拉曼光譜儀分析類鑽碳薄膜的結構變化。

- (9) 清華大學動機所博士生胡志帆君參與薄膜分項薄膜機械性質量測研究(100 年 10 月 -100 年 12 月)：

委請博士研究生胡志帆同學協助有關量測系統應用的設計。主要工作為參與夾具設計的改良與量測儀器的使用，並藉此培養瞭解微奈米機械量測系統的人才與協助薄膜機械性質量測相關的研究。

## 伍、成果說明與檢討

### 一、奈米粒子/線之尺寸形貌與功能性量測標準追溯分項

#### 【年度目標】

- (一)追溯型 FE-ESEM 系統評估與查驗(量測範圍 20 nm ~ 1000 nm , 量測不確定度 5 nm ~ 30 nm)。
- (二)氣相粒子等效粒徑理論分析及線上量測系統建置與初期測試與研究。
- (三)奈米粒子參考物質研製技術(SiO<sub>2</sub>, Ag)。
- (四)完成微力機構靜電力追溯, 及 10 μN 靜電力與 1 mg 法碼重量之力平衡實驗。

#### 【本年度成果】

##### (一)追溯型 FE-ESEM 系統評估與查驗。

本年度完成掃描式電子顯微量測系統評估, 並進行奈米線距與奈米粒子量測能力分析。並於 11 月 24 日舉辦系統查驗會議。系統評估結果為:

-奈米粒子最佳量測能力為(k 為 1.98):

10 nm 粒徑標稱值 30 nm :U = 1.4 nm(粒徑標稱值為10 nm之最小量測不確定度)

30 nm < 粒徑標稱值 60 nm :U = 5.3 nm (粒徑標稱值為60 nm之最小量測不確定度)

-奈米線距其最佳量測能力為(k = 1.98):

70 nm □ 線距 < 700 nm : U = 0.3nm(線距標稱值為70 nm之最小量測不確定度)

700 nm □ 線距 □ 1000 nm : U = 2.8 nm(線距標稱值為700 nm之最小量測不確定度)

##### (二)氣相粒子等效粒徑理論分析及線上量測系統建置與初期測試與研究。

本年度完成氣相粒子量測系統架設, 整理相關量測理論與規範整理。以不同粒徑聚苯乙烯球、氯化鈉粒子測試計數效率與比對, 完成量測系統測試。奈米粒子環境懸浮量測標準技術主要有粒子霧化裝置、稀釋腔體、電荷中和、流量控制、微分電移動度系統以及法拉利杯等。預計下年度進行系統評估, 建立一套可追溯標準系統, 進行粒徑與濃度校正等。需求來源主要有無塵室, 如台積、聯電、華邦、力晶、茂德、茂矽、南亞科技、通用電子、碧悠、元太、翰宇彩晶、友達光電、奇美、勝華、勝開、中華映管、鍊德/鍊寶、台灣凸版、瑞儀光電、夏普、日月光、志聖工業、生達、中化、永日化學、永信製藥、勇博工程、九合工程、龍泰無塵洗衣、東利眼鏡、中科院、華航、核能廠, 以及儀器代理商, 耀群、尚偉與力昂等。

### (三)奈米粒子參考物質研製技術(SiO<sub>2</sub>, Ag)。

本年度研發奈米銀與二氧化矽等材料，作為標準參考物質表 1-1。考量工業與生醫領域不同應用需求，計畫開發與調配不同包覆形式或材料之奈米粒子。奈米銀製作有幾種，第一種為多元醇法製作。使用硝酸銀(AgNO<sub>3</sub>, 99.9%, Aldrich)當做銀的前驅物，將其溶於乙二醇(ethylene glycol, 簡稱 EG, 99.9%, Aldrich)溶劑中，使用聚乙烯吡咯烷酮(PVP, Mw = 10000, Aldrich)當做表面保護劑以避免奈米銀粒子產生聚集以及檸檬酸鹽(Citric acid)包覆的奈米銀粒子，提供 20 nm~70 nm 的高穩定性與均一性之粒子。另外，考量生醫實驗用奈米粒子，不希望使用可能造成細胞毒性反應成分作為前驅物質，因此採用澱粉與奈米銀包覆而成，製作 20 nm 與 50 nm 粒子。奈米二氧化矽的部份，主要以 Stöber 方法製備出 30 nm 均一粒徑二氧化矽粒子，製備所需的材料有四乙氧基矽烷單體(Tetraethoxysilane, Shin-Etsu Chemical, Japan)、左旋精氨酸(L-Arginine 98.0 %, Aldrich, USA)。環己烷(Cyclohexane 99.5 %, Scharlau, Spain)、去離子水(>18.0 M)。

表 1-1. 奈米粒子參考物質

Material	Capping agent	Size	Application
Silver	PVP	20 nm	Engineering
Silver	Citrate	20 nm	Engineering
Silver	Starch	20 nm, 50 nm	NanoToxicology
Silica	Non-coated	30 nm	Engineering

### (四)奈米粒子/線功能性量測標準技術建立。

達成 100 年度目標：「完成微力機構靜電力追溯，及 10 μN 靜電力與 1 mg 法碼重量之力平衡實驗」，其中包含下列四項查核項目：

A8 100 年 04 月：完成毫克法碼(1、2、5、10、20) mg 質量追溯。

A9 100 年 06 月：完成靜電力標準追溯(電壓、電容、長度)。

A10 100 年 08 月：完成 1 mg 法碼重力與 10 μN 靜電力力平衡實驗。

A11 100 年 11 月：完成微懸臂樑(傳遞標準)力常數量測，施力範圍(1 to 100) μN。

## 【技術創新】

### (一)追溯型 FE-ESEM 系統評估與查驗。

目前電子顯微鏡的技術發展雖然持續往高解析前進，然而無論如何改進機種都無法解決下列幾個限制。

第一、影像漂移，而其原因有

1. 機械構造之穩定度，如移動平台相對於電子槍之移動，電子槍受冷卻水溫度漂移造成之熱漲冷縮。

2. 電子束聚焦及偏折皆以電場、電流控制，然而電子的穩定性會影響漂移，即使使用電子束不掃描模式(spot mode)，依然不能確保內在及外在之電子、電磁波之影響。

3. 物理上的限制，當電子束以一定速率掃過樣品，樣品會有一定程度電荷累積，無論是暫時或較長時間的非平衡態分布。因此造成表面電場的改變，進而影響下一個畫面的成像，最基本的影響就是漂移。

## 第二、邊緣效應

對應於實際物體之間和量測值，有所謂的邊緣效應。這個效應會產生在邊緣，訊號顯現異常的大，進而產生實際尺寸無法定義的問題。

因應上述問題，除了改進量測系統之條件外，有些國家實驗室如 NIST，於電子腔體內置入可追溯的移動平台與系統，藉著評估干涉儀等定位裝置，實現尺寸追溯與校正。然而此方式涉及更改系統結構，需耗費較大經費以及人力需求之外，面臨的不確定度與風險很高。因此，考量效益與成本面，本計畫以標準件追溯方式，利用比較量測法進行校正實驗，完成尺寸追溯與校正。並在此方法下，評估粒徑與線距量測不確定度。

依據量測不確定度表示方式指引(ISO GUM) [1-1]所建議之不確定度評估方法，量測不確定度之評估首先需建立量測之數學模式。場發射掃描電子顯微鏡量測系統量測奈米尺寸，其量測值由所用的標準件校正值、標準件量測值和待校件量測值計算而得之，量測方程式如下：

$$X_c = \frac{R_c X_m}{R_m} (1 - \alpha_X \delta T_X + \alpha_R \delta T_R) \quad (1-1)$$

其中  $X_c$  :待校件校正值(nm)

$R_c$  :標準件校正值(nm)

$R_m$  :標準件量測值(nm)

$X_m$  :待校件量測值(nm)

$\alpha_X$  : 待校件熱膨脹係數 (  $^{\circ}C^{-1}$  )

$\alpha_R$  : 標準件熱膨脹係數 (  $^{\circ}C^{-1}$  )

$\delta T_X$  :量測待校件之溫度差(  $^{\circ}C$  )

$\delta T_R$  :量測標準件之溫度差(  $^{\circ}C$  )

參考 ISO16700:2004(E)[1-2]，溫度對量測結果影響甚小。因此，量測方程式簡化如下：

$$X_c = \frac{R_c X_m}{R_m} + E \quad (1-2)$$

其中， $E$  為溫度變異產生之誤差，估計值為零。由國際標準組織發行的量測不確定度表示方式指引(ISO GUM)所述之量測不確定度估算步驟，可得待校件粒徑  $X_c$  之組合標準不確定度如式(1-3)所示。

$$u_c^2(X_c) = \left(\frac{\partial f}{\partial R_c}\right)^2 u^2(R_c) + \left(\frac{\partial f}{\partial X_m}\right)^2 u^2(X_m) + \left(\frac{\partial f}{\partial R_m}\right)^2 u^2(R_m) + u^2(E) \quad (1-3)$$

式(1-3)中各偏微分項推導如下：

$$\begin{aligned} \frac{\partial f}{\partial R_c} &= \frac{X_m}{R_m} \\ \frac{\partial f}{\partial R_m} &= -\frac{R_c X_m}{R_m^2} \cong -\frac{X_m}{R_m} \\ \frac{\partial f}{\partial X_m} &= \frac{R_c}{R_m} \cong 1 \end{aligned}$$

粒子量測各項可能造成不確定源分析如下：

### 1 標準件傳遞之標準不確定度， $u(R_c)$

本系統標準件，目前係經由美國國家標準與技術研究院(National Institute of Standards and Technology)以掃描式電子顯微鏡校正之。因此其追溯之不確定度同時傳遞至系統上，此項可由校正報告得其標準不確定度值，屬 B 類(B-type)之評估方式。此標準片經 NIST 校正後，結果如下表

表 1-2 標準粒子校正結果

型號	校正值 (nm)	擴充不確定度 (nm)
8011	9.9	0.1
8012	26.9	0.1
8013	54.9	0.4

故 10 nm 粒徑標稱值 30 nm 之  $u(R_c)$  以  $0.1 / 2 = 0.05$  nm,  $30 \text{ nm} <$  粒徑標稱值 60 nm 之  $u(R_c)$  以  $0.4 / 2 = 0.2$  nm 估計之，其相對不確定性為  $R = 10\%$ ，自由度為 50。

### 2 標準件量測之標準不確定度， $u(R_m)$

標準件量測值之不確定度評估，包括顯示畫素(pixel)造成的不確定度、掃描式電子顯微鏡最小解析度之變異、因掃描時電荷累積造成之影像漂移以及重複量測之誤差。各項不確定度源分別敘述如下。

#### (a) 顯示畫素(pixel)造成的不確定度， $u(R_p)$

因操作人員主觀判斷所造成畫數之變異，假設誤差為  $\pm 1$  pixel，需考慮左右兩端解析度誤差，機率採矩形分佈，所以標準不確定度  $u(R_p)$  為：

$$\sqrt{2}/\sqrt{3} \text{ pixel} = 0.816 \text{ pixel}，其相對不確定性為 R = 10\%，自由度為 50。$$

由參考尺規轉換為畫素的尺寸：於放大率等於 50 k 的倍率下，1 pixel = 2.24 nm；於 100 k 的倍率時，1 pixel = 1.12 nm。

因此，放大倍率 M(1 千倍為單位)與畫素 P (nm) 大小的關係為：

$$P = 112 / M$$

在放大倍率 M (k) 下，量測標準件之不確定度為：

$$u(R_{m_2}) = 112/M \times 0.816 = 91.4/M \text{ (nm)}$$

(b) 場發射掃描式電子顯微鏡機台宣稱最小解析度之可能變異， $u(R_r)$

本設備場發射掃描式電子顯微鏡其所宣稱最小解析度約為 0.1 nm，解析度之可能變異假設在量測時呈矩形分布，所以標準不確定度為  $0.1/(2\sqrt{3}) = 0.029 \text{ nm}$ ，其相對不確定性為  $R = 10\%$ ，自由度為 50。

(c) 電荷累積造成之影像飄移， $u(R_d)$

因掃描式電子束入射於樣品表面，會有暫態電荷累積於樣品表面，此累積電荷造成之影像飄移，如圖 1-1。此處量測八分鐘內影像飄移的量，並計算其平均之飄速度為 0.1071 nm/s。

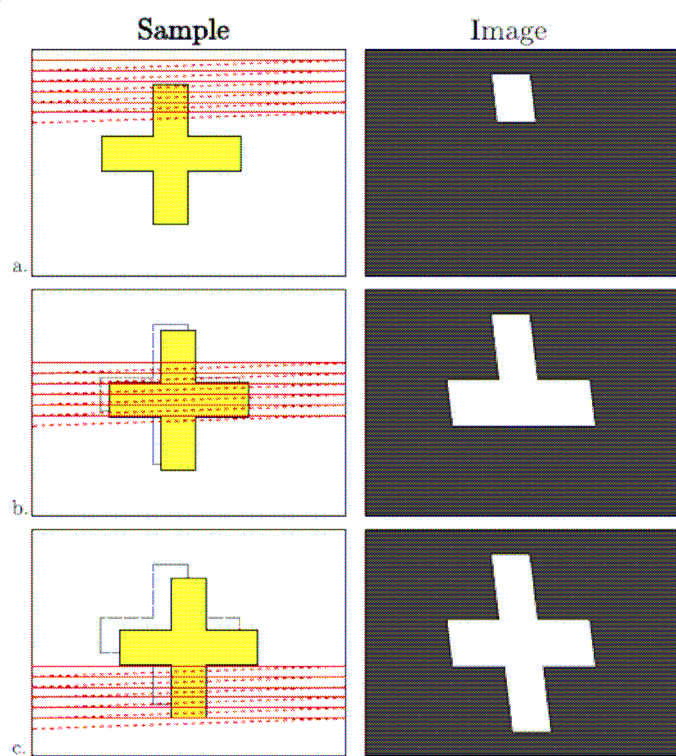


圖 1-1 左圖示電子束”慢速掃描模式”示意圖，因為受到先掃橫軸再掃縱軸的影響圖形會有縱向較橫向為寬的變形。再則虛線快速回來，形成非正交掃描軸向之電荷累積，因此造成斜向之形變。右圖則為成像示意圖。

標準件平均量測時間約為 2.6 秒，因此其平均漂移量之變化為  $\pm 0.1071 \text{ nm/s} \times 2.6 \text{ s} = \pm 0.2785 \text{ nm}$ 。假設其飄移變化量呈矩形分布。所以標準不確定度為  $0.2785/\sqrt{3} = 0.162 \text{ nm}$ ，其相對不確定性為  $R = 20\%$ ，自由度為 12.5。

(d) 標準件重複量測之標準不確定度， $u(R_s)$

標準件重複量測 100 筆數據，產生之標準差  $S_1$ ，重複量測不確定度分量為  $u(R_s) = S_1/\sqrt{100}$ 。此不確定度分量之自由度為  $100-1 = 99$ 。

綜合上述評估結果，可得不確定度分量，如下：

$$\begin{aligned}\frac{\partial f}{\partial R_m} u(R_m) &= -\frac{X_m}{R_m} \sqrt{u^2(R_p) + u^2(R_r) + u^2(R_d) + u^2(R_s)} \\ &= -\frac{X_m}{R_m} \sqrt{8353/M^2 + 0.027 + S_1^2/100}\end{aligned}$$

3 待校件量測之標準不確定度， $u(X_m)$

待校件量測值之不確定度評估包含，顯示畫素(pixels)造成的不確定度、掃描式電子顯微鏡最小解析度之變異、以及因掃描時電荷累積造成之影像漂移。各項不確定度評估同 3.2.2，其中 S2 為待校件重複量測 100 筆數據，產生之標準差，因此待校件所產生之不確定度分量為；

$$\begin{aligned}\frac{\partial f}{\partial X_m} u(X_m) &= \sqrt{u^2(R_p) + u^2(R_r) + u^2(R_d) + u^2(R_s)} \\ &= \sqrt{8353/M^2 + 0.027 + S_2^2/100}\end{aligned}$$

4 溫度變化產生之標準不確定度， $u(E)$

依據 ISO 16700 之資料[1-2]，溫度對於不確定度的影響預估約為： $u(E) = 0.005 \times X_m$ ，本項不確定度假設其相對不確定性為 20%，估計此不確定度分量之自由度為 12.5。

組合標準不確定度

綜合以上所述，將各分項不確定度及靈敏係數之值代入式(3)。因此，本系統量測之組合標準不確定度  $u_c(X_c)$ ：

10 nm 粒徑標稱值 30 nm

$$u_c = \sqrt{\left(\frac{X_m}{R_m}\right)^2 \left(\frac{S_1^2}{100} + 0.05^2\right) + \frac{S_2^2}{100} + 0.000025 X_m^2 + \left(\left(\frac{X_m}{R_m}\right)^2 + 1\right) \left(\frac{8353}{M^2} + 0.027\right)}$$

30 nm<粒徑標稱值 60 nm

$$u_c = \sqrt{\left(\frac{X_m}{R_m}\right)^2 \left(\frac{S_1^2}{100} + 0.2^2\right) + \frac{S_2^2}{100} + 0.000025 X_m^2 + \left(\left(\frac{X_m}{R_m}\right)^2 + 1\right) \left(\frac{8353}{M^2} + 0.027\right)}$$

有效自由度

根據 Welch-Satterthwaite 公式可計算本量測系統之有效自由度 ( $\nu_{eff}$ )

$$\nu_{eff} = \frac{u_c^4}{\sum_{i=1}^n \frac{[c_i u(x_i)]^4}{\nu(x_i)}} \quad (1-4)$$

擴充不確定度

通常，量測不確定度係以擴充不確定度(Expanded uncertainty, U)方式表示，其定義如式(5)所示：

$$U = k \times u_c \quad (1-5)$$

其中 k 稱為涵蓋因子(Coverage factor)，由量測值的信賴區間及該量測系統不確定度之有效自由度決定。

擴充不確定度分析表

表 1-3 以量測標準粒子 10 nm，同時作為標準件與待校件下所評估之最佳不確定度。其中，放大率 200 k，量測平均值為 8.8 nm，100 次重複量測標準差為 0.86 nm。

表 1-4 為 60 nm 粒徑，以放大率 50 k 下之量測不確定度分析結果。其中標準件的量測平均值為 58.5 nm，100 次重複量測標準差為 2.6 nm。

表 1-3：以放大率 200 k 量測 10 nm 粒徑不確定度分析表

不確定度源	TYPE	標準不確定度(nm) $u(X_i)$	靈敏係數 $\frac{\partial f}{\partial X_i}$	不確定度分量 (nm) $\left  \frac{\partial f}{\partial X_i} \right  u(X_i)$	自由度 $\nu(X_i)$
標準件傳遞追溯值 ( $R_c$ )	B	0.05	1	0.05	50
標準件量測值 ( $R_m$ )		0.494	-1	0.494	63
畫素之變異 ( $R_p$ )	B	0.457	--	--	50
最小解析度 ( $R_r$ )	B	0.029	--	--	50
影像漂移 ( $R_d$ )	B	0.162	--	--	12.5
重複量測 ( $R_S$ )	A	0.086			99
待校件量測值 ( $X_m$ )		0.494	1	0.494	63
畫素之變異 ( $X_p$ )	B	0.457	--	--	50
最小解析度( $X_r$ )	B	0.029	--	--	50
影像漂移 ( $X_d$ )	B	0.162	--	--	12.5
重複量測 ( $X_S$ )	A	0.086			99
溫度變化產生之標準不確定度( $E$ )	B	0.044	1	0.044	12.5
組合標準不確定度 $u_c = 0.71$ nm					
有效自由度 $\nu_{eff} = 128$					
涵蓋因子 $k = 1.98$					
擴充不確定度 $U = 1.4$ nm ( 95 % 信賴水準 )					

表 1-4：以放大率 50 k 量測 60 nm 粒徑不確定度分析表

不確定度源	TYPE	標準不確	靈敏係數	不確定度	自由度
-------	------	------	------	------	-----



		定度(nm) $u(X_i)$	$\frac{\partial f}{\partial X_i}$	分量 (nm) $\left  \frac{\partial f}{\partial X_i} \right  u(X_i)$	$\nu(X_i)$
標準件傳遞追溯值 ( $R_c$ )	B	0.20	1	0.20	50
標準件量測值 ( $R_m$ )		1.854	-1	1.854	52
畫素之變異 ( $R_p$ )	B	1.828	--	--	50
最小解析度 ( $R_r$ )	B	0.029	--	--	50
影像漂移 ( $R_d$ )	B	0.162	--	--	12.5
重複量測 ( $R_S$ )	A	0.26			99
待校件量測值 ( $X_m$ )		1.854	1	1.854	52
畫素之變異 ( $X_p$ )	B	1.828	--	--	50
最小解析度( $X_r$ )	B	0.029	--	--	50
影像漂移 ( $X_d$ )	B	0.162	--	--	12.5
重複量測 ( $X_S$ )	A	0.26			99
溫度變化產生之標準不確定度( $E$ )	B	0.293	1	0.293	12.5
組合標準不確定度 $u_c = 2.65$ nm					
有效自由度 $\nu_{\text{eff}} = 110$					
涵蓋因子 $k = 1.98$					
擴充不確定度 $U = 5.3$ nm (95% 信賴水準)					

相同的，線距量測各項可能造成不確定源分析同粒子之外，多了角度偏移的影響如下：圖 1-2 為量測方向與線距方向之示意圖。量測時因人為判斷誤差，量測方向與線距方向夾角不為零，因而造成不確定度。

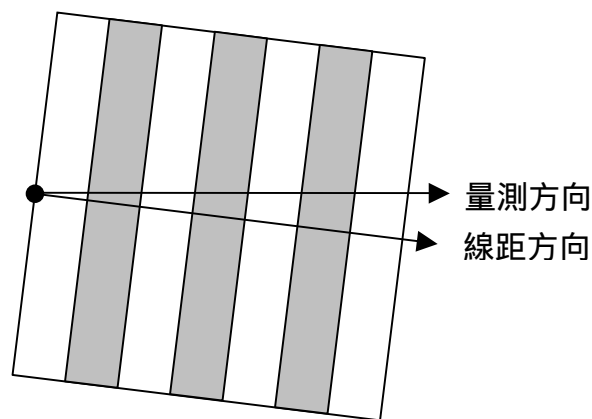


圖 1-2：量測方向與線距方向之示意圖

假設人為判斷角度之誤差，夾角為 $\pm 1^\circ$ 。假設其分佈呈矩形分佈，故此項不確定度分量  $u(R_\theta) = (1 - \cos(1^\circ))R_m / \sqrt{3} = 8.79 \times 10^{-5} R_m$ 。本項不確定度假設其相對不確定性為 20%，估計此不確定度分量之自由度為 12.5。

圖 1-3 為樣品法線與入射電子束夾角之示意圖。量測時因人為判斷誤差，入射電

子束與樣品法線夾角不為零，因而造成不確定度。

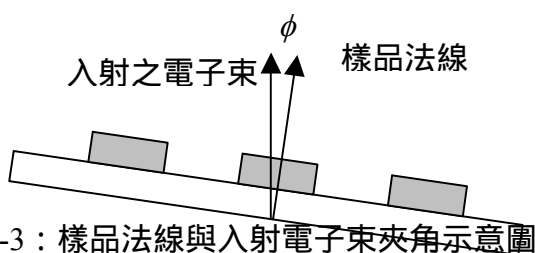


圖 1-3：樣品法線與入射電子束夾角示意圖

假設人為判斷角度之誤差，夾角為 $\pm 1^\circ$ 。假設其分佈呈矩形分佈，故此項不確定度分量  $u(R_\theta) = (1 - \cos(1^\circ))R_m / \sqrt{3} = 8.79 \times 10^{-5} R_m$ 。本項不確定度假設其相對不確定性為 20%，估計此不確定度分量之自由度為 12.5。

表1-5為70 nm線距，以放大率100 k下之量測不確定度分析結果。其中標準件的量測平均值為70.12 nm，標準差為0.082 nm，待校件量測平均值為70.41 nm，標準差為0.988 nm。表1-6為700 nm線距，以放大率10 k下之量測不確定度分析結果。其中標準件的量測平均值為702.8 nm，標準差為0.85 nm，待校件量測平均值為698.8 nm，標準差為1.5 nm。

表 1-5：以放大率 100 k 量測 70 nm 線距不確定度分析表

不確定度源	TYPE	標準不確定度(nm) $u(X_i)$	靈敏係數 $\frac{\partial f}{\partial X_i}$	不確定度分量 (nm) $\left  \frac{\partial f}{\partial X_i} \right  u(X_i)$	自由度 $\nu(X_i)$
-------	------	------------------------	---	--	-------------------

標準件傳遞追溯值 ( $R_c$ )	B	0.0035	1.004	0.0035	50
標準件量測值 ( $R_m$ )		0.929	-1	0.929	53
畫素之變異 ( $R_p$ )	B	0.914	--	--	50
最小解析度 ( $R_r$ )	B	0.029	--	--	50
影像漂移 ( $R_d$ )	B	0.162	--	--	12.5
量測方向與線距方向夾角 ( $R_\theta$ )	B	0.006	--	--	12.5
樣品法線與入射電子束夾角( $R$ )	B	0.006	--	--	12.5
重複量測 ( $R_S$ )	A	0.036			12
待校件量測值 ( $X_m$ )		1.029	1	1.029	60
畫素之變異 ( $X_p$ )	B	0.914	--	--	50
最小解析度( $X_r$ )	B	0.029	--	--	50
影像漂移 ( $X_d$ )	B	0.162	--	--	12.5
量測方向與線距方向夾角 ( $X_\theta$ )	B	0.006	--	--	12.5
樣品法線與入射電子束夾角( $X$ )	B	0.006	--	--	12.5
重複量測 ( $X_S$ )	A	0.442			12
溫度變化產生之標準不確定度( $E$ )	B	0.352	1	0.352	12.5
組合標準不確定度 $u_c = 1.43$ nm(以上評估是以10條線距進行評估,所以 $u_c$ 為上表計算組合不確定度之1/10)					
有效自由度 $\nu_{\text{eff}} = 113$					
涵蓋因子 $k = 1.98$					
擴充不確定度 $U = 0.3$ nm ( 95 % 信賴水準 )					

表 1-6：以放大率 10 k 量測 700 nm 線距不確定度分析表

不確定度源	TYPE	標準不確定度(nm) $u(X_i)$	靈敏係數 $\frac{\partial f}{\partial X_i}$	不確定度分量 (nm) $\left  \frac{\partial f}{\partial X_i} \right  u(X_i)$	自由度 $\nu(X_i)$
標準件傳遞追溯值 ( $R_c$ )	B	0.0035	1.004	0.0035	50
標準件量測值 ( $R_m$ )		9.152	-1	9.152	56
畫素之變異 ( $R_p$ )	B	9.14	--	--	50
最小解析度 ( $R_r$ )	B	0.029	--	--	50
影像漂移 ( $R_d$ )	B	0.162	--	--	12.5
量測方向與線距方向夾角 ( $R_\theta$ )	B	0.062	--	--	12.5
樣品法線與入射電子束夾角( $R$ )	B	0.062	--	--	12.5
重複量測 ( $R_S$ )	A	0.425			12
待校件量測值 ( $X_m$ )		9.167	1	9.167	50
畫素之變異 ( $X_p$ )	B	9.14	--	--	50
最小解析度( $X_r$ )	B	0.029	--	--	50
影像漂移 ( $X_d$ )	B	0.162	--	--	12.5
量測方向與線距方向夾角 ( $X_\theta$ )	B	0.062	--	--	12.5
樣品法線與入射電子束夾角( $X$ )	B	0.062	--	--	12.5
重複量測 ( $X_S$ )	A	0.671			12
溫度變化產生之標準不確定度( $E$ )	B	3.494	1	3.494	12.5
組合標準不確定度 $u_c = 13.4$ nm(以上評估是以10條線距進行評估，所以 $u_c$ 為上表計算組合不確定度之1/10)					
有效自由度 $\nu_{eff} = 111$					
涵蓋因子 $k = 1.98$					
擴充不確定度 $U = 2.8$ nm ( 95 % 信賴水準 )					

量測系統穩定度可經由管制圖查核。在系統評估過程中，以線距標準片作為系統的查核件，查核件為線距標準片 70-1DUTC(S/N 3555K0208)。利用這些查核參數值計算查核參數平均值、標準差、和管制上下限。所得之管制圖如圖 1-4 與圖 1-5 所示。管制圖的目的是長期監控本校正系統之穩定性，且由數據之分佈狀況，判斷本校正系統是否一直維持在正常統計管制狀態中。當查核值落在管制範圍外時，則表示此校正系統有損壞或不當的操作，應停機檢視系統之安裝與實驗步驟是否有誤。待問題排除後，再進行數據的擷取。

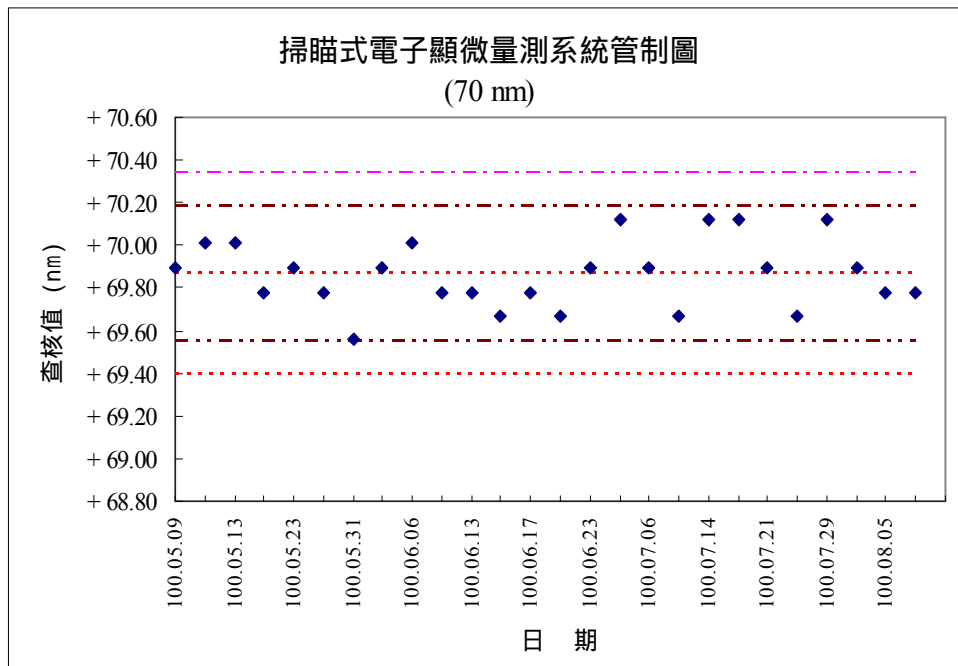


圖 1-4：70 nm 線距標準片管制圖

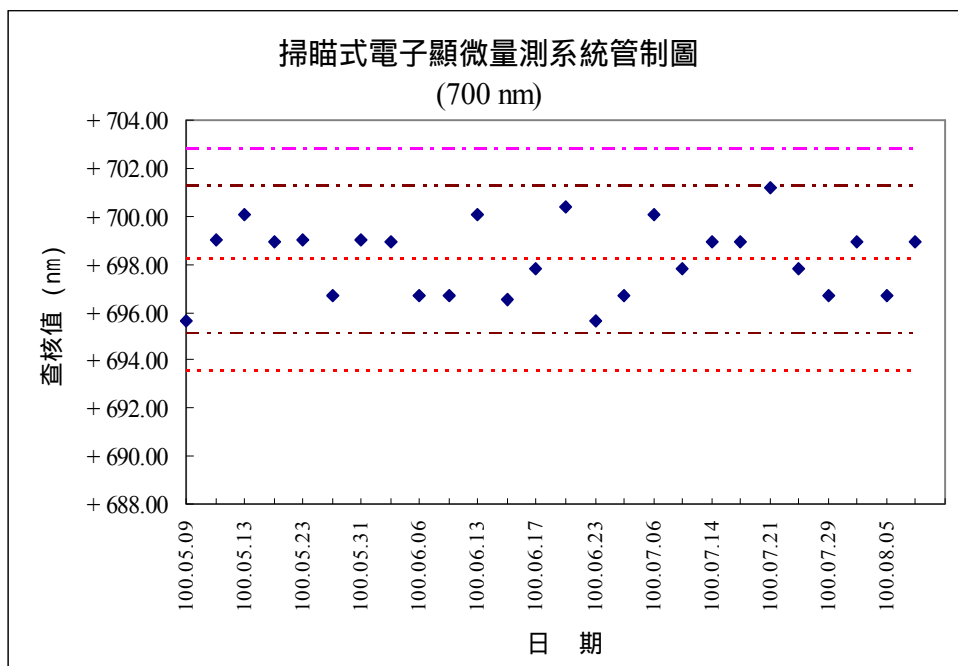


圖 1-5：700 nm 線距標準片管制圖

(二)氣相粒子等效粒徑理論分析及線上量測系統建置與初期測試與研究。

一般而言，當微粒之粒徑小於 100 nm 時，即很難以光學式粒子計數器(Optical Particle Counter, OPC)來偵測，所以針對奈米粒子必須要有不同於一般光學的方法來量測。凝核計數器(Condensation Particle Counter, CPC)是一種與光學計數器非常類似之儀器，該儀器利用有機溶劑蒸發與凝結的原理，使奈米粒子成長到光學儀器可偵測之大小，由於光學計數器能偵測到的微粒粒徑至少須在 100 nm 以上，故凝核計數器之粒子數之量測原

理乃是利用粒子進入計數器後，先通過一充滿飽和蒸汽的管道，此飽和蒸氣可由揮發性液體產生，微粒與蒸汽在飽和蒸氣中以較高的溫度混合後，再通過一溫度較低的凝結管，使揮發性液體凝結於微粒表面以形成液滴，並成長至可由光學計數器偵測的程度，液滴隨後通過光束，使光束產生散射的現象，當此凝核微粒通過光學感測器時會產生脈衝信號，經由計算產生之脈衝信號即可測得粒子的個數，其偵測粒子之粒徑的偵測下限可達 2.5 nm。表 1-7 為 NIST 的系統規格與本計畫預計發展系統規格比較。國際上對於懸浮於氣體中的奈米微粒監測主要是利用高度擴散離子帶電(diffusion ion charging)以及微粒電移動特性(electrical mobility)分離收集奈米微粒，並且結合使用超細微粒核凝計數器 (Ultrafine Condensation Particle Counter, UCPC)，就可即時精確監測懸浮於氣體中的危害性奈米微粒(3~100 nm)濃度 (Chen et al.,1998)。所謂的凝核計數器(Condensation Particle Counter, CPC)為量測奈米微粒數目濃度最常用之儀器，它利用光散射技術偵測並計數已知體積流量內的微粒數目。此技術和光學微粒計數器(Optical Particle Counter, OPC)類似，兩者的主要差異在於 CPC 多了微粒核凝成長的機制，讓 CPC 可偵測到更小的微粒。原理為讓微粒在通過偵測計數器之前因吸收酒精或水而長大，使得原本因粒徑太小導致散射光線不足的微粒成長至偵測器可測得粒徑。微粒計數的原理與粒子電荷無關，因此可偵測到絕對的微粒數目。CPC 計數的正確性受到很多因素影響，如流量、高濃度的計數損失、極小微粒的核凝效果不佳及微粒由進口到偵測部位的傳輸損失等因素，均會造成量測上的誤差。因此 CPC 需定期進行校正，才能確保量測結果的準確性。CPC 通常以法拉第杯氣膠靜電計(Faraday-cup aerosol Electrometer, FCAE)作為其校正之參考標準，如圖 1-6 為一個法拉第杯構造。它由兩個電極組成，一個在另一個的內部，由絕緣體分開，利用金屬板或金屬網製成的封閉體。由於閉合、中空導體中的電場為零。所以，使用法拉第杯就把放在其內部的物體遮罩起來，不受大氣的或任何寄生的電場的影響。內電極連到靜電計的 HI 端，外電極連到靜電計的 LO 端。當帶電粒子進入內電極上時，就有感生電荷流過靜電計，就能準確地用靜電計測量粒子表面上的電荷。電極可以由任何導電材料製作。支撐用的絕緣體應當用電阻非常高的材料，如聚四氟乙烯或陶瓷來製作。

在許多情況下，校正的主要目的是為了確認 CPC 對極小微粒的偵測極限，而會選擇 FCAE 的原因是因為它對於任何粒徑微粒的偵測效率皆一致。所謂的 CPC 的偵測效率為偵測同一數目的單電荷單徑微粒時，CPC 測出的濃度與參考 FCAE 所偵測出的濃度比值。

ISO/WD 27891 (草案階段) 提供了兩種 CPC 的標準校正方法：參考 FCAE (reference FCAE)及參考 CPC (reference CPC)的比對。若採用前者的比對方法，則還須對作為參考用的 FCAE 進行驗證。上述兩種作為參考驗證用的儀器對於偵測微粒數目濃度、粒徑大小以及微粒組成皆須要有標準的校正報告書，該證書必須出自於以下兩個單位其中之一：(1)被 ISO/IEC 17025 認可的實驗室，所提供的校正種類以及範圍也需在認可的範圍

之內；(2)由國家量測機構(National Measurement Institute)所提供之相關校正服務。

CPC 與 FCAE 的量測差異主要來自於多重帶電微粒(Multiply-charged particles)以及校正時 CPC 和參考儀器的進口處的微粒濃度偏差，故 CPC 之校正程序須針對上述影響因素進行評估且須加以修正，也因此國家實驗室必須間負起上述任務，以滿足國內目前濃度校正需求。

國內目前市場使用氣膠計數器，主要需求為無塵室。無塵室的正確名稱是潔淨室，它可分為兩大類：一是工業用，另一則是生化及醫藥用。前者應用在半導體、電子工業、光學儀器、精密機械、精緻塗裝、新化學材料及航太產業，主要是為控制塵埃粒子，後者則是以製造無菌環境為主。無塵室是一個為了對空間內空氣中的微粒做控制，所建造的特殊封閉性建築。一般而言，無塵室也會對溫濕度、氣流運動模式、與振動噪音等環境因素做控制。無塵室依等級的不同，對一定空間內的微塵粒子最大容許量亦有一定規範，在國際標準中最常用的規範有 Fed-Std-209E 及 ISO-14644，表 1-8 及表 1-9 為 Fed-Std-209E 及 ISO-14644 的等級定義。ISO 的等級劃分，首先定義了微粒的粒徑是從 0.1  $\mu\text{m}$  到 5  $\mu\text{m}$ ，在此範圍之外就不列入等級表，另定義有超微粒子與超大粒子針對範圍外粒子。ISO 等級本身歸類為 ISO Class 1 到 ISO Class 9，其允許上限的定義是大於等於該粒徑的微粒數，數目字如圖 1-7，單位是每立方公尺的微粒數。

圖 1-8 為粒徑量測系統與濃度校正系統示意圖，霧化器(Aerosol generator)產生氣溶膠奈米粒子，然後將粒子通過乾燥處理與電荷中和器(Neutralizer)後，進入電移動度分析儀 (DMA)，控制其電壓與流量，使其篩選出特定粒徑之粒子，以一凝核計數器(CPC)量測此時的粒子數量。系統藉由設計分流(Flow splitter)與粒子稀釋裝置，並接待測 CPC 與氣膠靜電計 (Aerosol electrometer)，或稱為法拉利靜電杯(Faraday-cup aerosol electrometer, FCAE)。法拉利靜電杯包括一個導電和接地杯作為外殼，包覆包括感測元件、蒐集氣溶膠粒子的過濾網、連接感測元件之間和靜電計電路，以及一個流量計如圖 1-9。藉由校正流量計與靜電計之電流，便可完成追溯至 SI 單位。利用此可追溯之法拉第靜電杯，建立一原級濃度校正系統，追溯圖如圖 1-10 所示，系統的追溯包括粒子濃度、粒子大小、流量與電壓等。

如前述，CPC 計數的準確性受到很多因素影響，如流量、高濃度的計數損失、極小微粒的核凝效果不佳及微粒由進口到偵測部位的傳輸損失等因素，均會造成量測上的誤差。因此，依據 ISO 15900 建議，CPC 送校時會量測所謂的計數效率。其定義為最小量測粒徑範圍的 1.5 倍，其計數效率須達 90 %，如圖 1-11 所示。系統必須考慮粒徑的不確定度以及濃度的不確定度兩個重要因素。

因此，校正系統中的粒子，係由 DMA 系統所產生，其為具特定電移動度的粒子。電移動度的大小與粒子的尺寸與帶電量有關，電移動度與粒子大小關係可以寫成，

$$Z_p = \frac{v_E}{E} = \frac{q \cdot C_c}{3\pi \cdot \eta \cdot d_p} \quad (1-5)$$

$v_E$  粒子於此高壓電場  $E$  中的速度， $d_p$  為粒徑， $p$  為電荷數。

DMA 設定下，特定粒徑  $d_p$  數量濃度即為：

$$C_N(Z) = \sum_{p \geq 1} C_{N,p}(d_p(Z)) \quad (1-6)$$

CPC 在特定粒徑的計數效率下，其濃度即為：

$$C_{N,CPC}(Z) = \sum_{p \geq 1} C_{N,p}(d_p(Z)) \cdot \eta_{CPC}(d_p(Z)) = C_N(Z) \sum_{p \geq 1} \phi_p(Z) \cdot \eta_{CPC}(d_p(Z)) \quad (1-7)$$

其中， $\phi_p(Z)$  為 DMA 中，帶特定電荷數粒子的殘餘數量， $\eta_{cpc}$  為 cpc 計數效率。

同樣的，FCAE 的數量濃度寫成：

$$C_{N,FCAE}(Z) = \sum_{p \geq 1} C_{N,p}(d_p(Z)) \cdot p \cdot \eta_{FCAE}(d_p(Z)) = C_N(Z) \sum_{p \geq 1} \phi_p(Z) \cdot p \cdot \eta_{FCAE}(d_p(Z)) \quad (1-8)$$

理想情況下，系統只有帶單一電荷的粒徑  $d_1(Z)$ ，因此 1-7 與 1-8 改寫成：

$$C_{N,CPC}(Z) = C_N(Z) \cdot \phi_1(Z) \cdot \eta_{CPC}(d_1(Z)) \quad (\text{for the test CPC}) \quad (1-9)$$

$$C_{N,FCAE}(Z) = C_N(Z) \cdot \phi_1(Z) \cdot \eta_{FCAE}(d_1(Z)) \quad (\text{for the reference FCAE}) \quad (1-10)$$

$$C_{N,CPC,ref}(Z) = C_N(Z) \cdot \phi_1(Z) \cdot \eta_{CPC,ref}(d_1(Z)) \quad (\text{for the reference CPC}) \quad (1-11)$$

以 FACE 作為標準件時，待測 CPC 的效率可以表示為：

$$\eta_{CPC}(d_1(Z)) = \frac{C_{N,CPC}(Z)}{C_{N,FCAE}(Z)} \cdot \eta_{FCAE}(d_1(Z)) \quad (1-12)$$

量測過程中，系統必須考慮對稱性的問題。因此，根據 ISO 27891 的建議，我們可以利用分別利用圖 1-12 與圖 1-13 兩個程序，將待校件與測試件翻轉量測，取得修正系數：

$$\beta = \sqrt{\left( \frac{\eta_{CPC}}{\eta_{ref}} \right)_1 \left( \frac{\eta_{ref}}{\eta_{CPC}} \right)_2} \frac{r_2}{r_1} = \sqrt{r_2/r_1} \quad (1-13)$$

其中  $r_1 = C_{N,CPC,1}/C_{N,ref,1}$ ，為第一次量測時，待校件與標準件讀值之比值。

$r_2 = C_{N,CPC,2}/C_{N,ref,2}$  為第二此量測時，待校件與標準件讀值之比值。

表 1-10 與表 1-11 為測試 30 nm 聚苯乙烯球，濃度  $4 \times 10^3$  時之數值，依照上述量測程序交互量測 10 次與計算，CPC 計數效率在 30 nm 為 0.831。



表 1-7 各國奈米粒子懸浮與比表面積量測技術比較

技術或量測系統名稱	技術領先國家現況	NML 目前技術狀況
奈米粒子環境懸浮量測	美國 NIST：利用粒子霧化、帶電、計數、以及 DMA 分餾技術，配合氣膠電流檢測技術，發展出粒子濃度標準技術： 12000 個/c.c. $\pm$ 4.8 %， 3000 個/c.c. $\pm$ 6.5 %， 500 個/c.c. $\pm$ 27 %，	已完成初步濃度校正系統組裝與所需硬體設備。  預計達成規格： ( $10^3$ 至 $10^4$ ) 個/c.c. $\pm$ (5%~10 %)

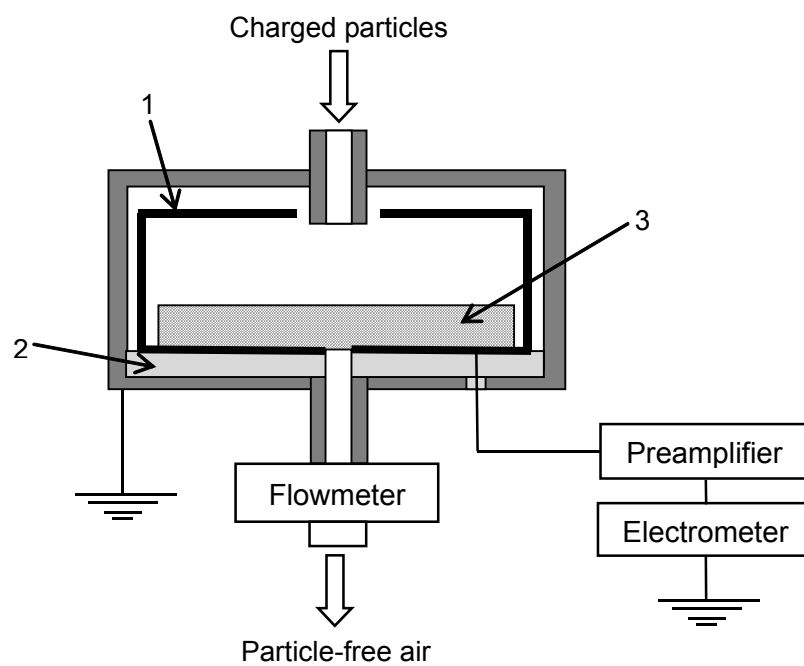


圖 1-6 法拉第杯氣膠靜電計

表1-8 Fed-Std-209E潔淨度定義

Class Limits											
Class name		0.1 μm		0.2 μm		0.3 μm		0.5 μm		5 μm	
		Volume units		Volume units		Volume units		Volume units		Volume units	
SI	English	(m <sup>3</sup> )	(ft <sup>3</sup> )	(m <sup>3</sup> )	(ft <sup>3</sup> )	(m <sup>3</sup> )	(ft <sup>3</sup> )	(m <sup>3</sup> )	(ft <sup>3</sup> )	(m <sup>3</sup> )	(ft <sup>3</sup> )
M1		350	9.91	75.7	2.14	30.9	0.875	10.0	0.283	-	-
M1.5	1	1,240	35.0	265	7.50	106	3.00	35.3	1.00	-	-
M2		3,500	99.1	757	21.4	309	8.75	100	2.83	-	-
M2.5	10	12,400	350	2,650	75.0	1,060	30.0	353	10.0	-	-
M3		35,000	991	7,570	214	3,090	87.5	1,000	28.3	-	-
M3.5	100	-	-	26,500	750	10,600	300	3,530	100	-	-
M4		-	-	75,700	2,140	30,900	875	10,000	283	-	-
M4.5	1000	-	-	-	-	-	-	35,300	1,000	247	7.00
M5		-	-	-	-	-	-	100,000	2,830	618	17.5
M5.5	10000	-	-	-	-	-	-	353,000	10,000	2,470	70.0
M6		-	-	-	-	-	-	1,000,000	28,300	6,180	175
M6.5	100000	-	-	-	-	-	-	3,530,000	100,000	24,700	700
M7		-	-	-	-	-	-	10,000,000	283,000	61,800	1,750

表1-9 ISO-14644潔淨度定義

Maximum concentration limits (particles/m <sup>3</sup> of air) particles equal to and larger than the considered sizes shown below						
Classification Numbers(N)	0.1 μm	0.2 μm	0.3 μm	0.5 μm	1 μm	5.0 μm
ISO Class1	10	2	-	-	-	-
ISO Class2	100	24	10	4	-	-
ISO Class3	1,000	237	102	35	8	-
ISO Class4	10,000	2,370	1,020	352	83	-
ISO Class5	100,000	23,700	10,200	3,520	832	29
ISO Class6	1,000,000	237,000	102,000	35,200	8,320	293
ISO Class7	-	-	-	352,000	83,200	2,930
ISO Class8	-	-	-	3,520,000	832,000	29,300
ISO Class9	-	-	-	35,200,000	8,320,000	293,000

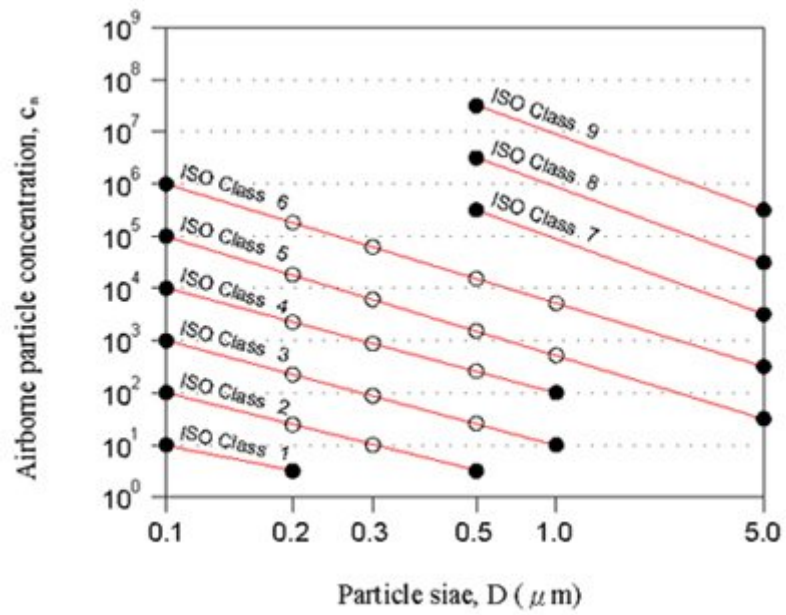


圖 1-7 粒徑與濃度規範範圍

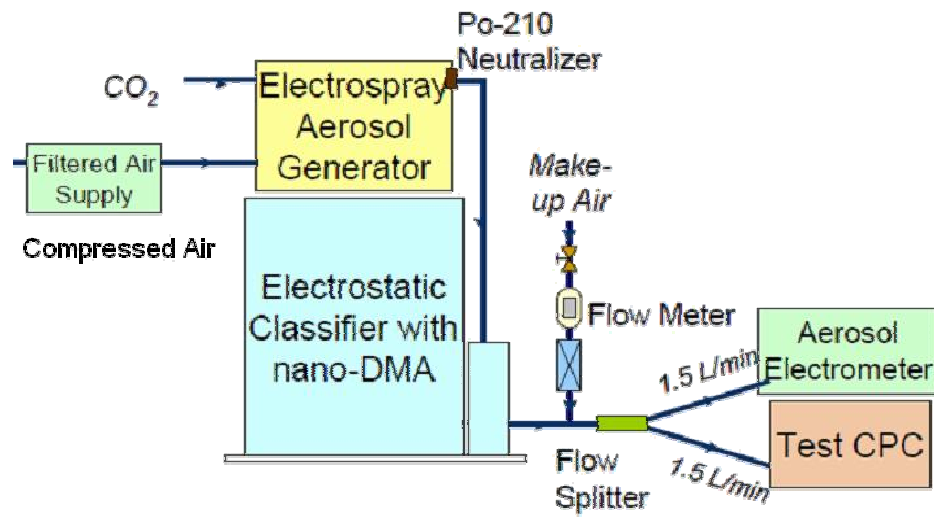


圖 1-8 粒徑與濃度校正系統示意

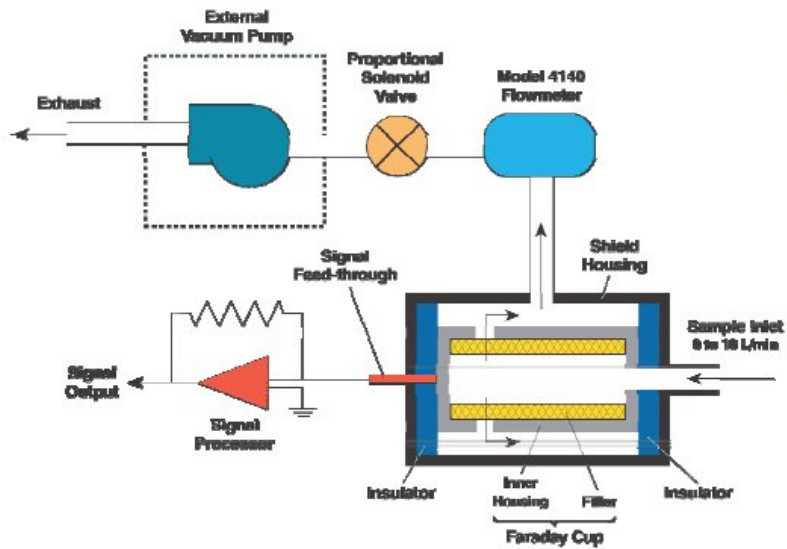


圖 1-9 氣膠靜電計

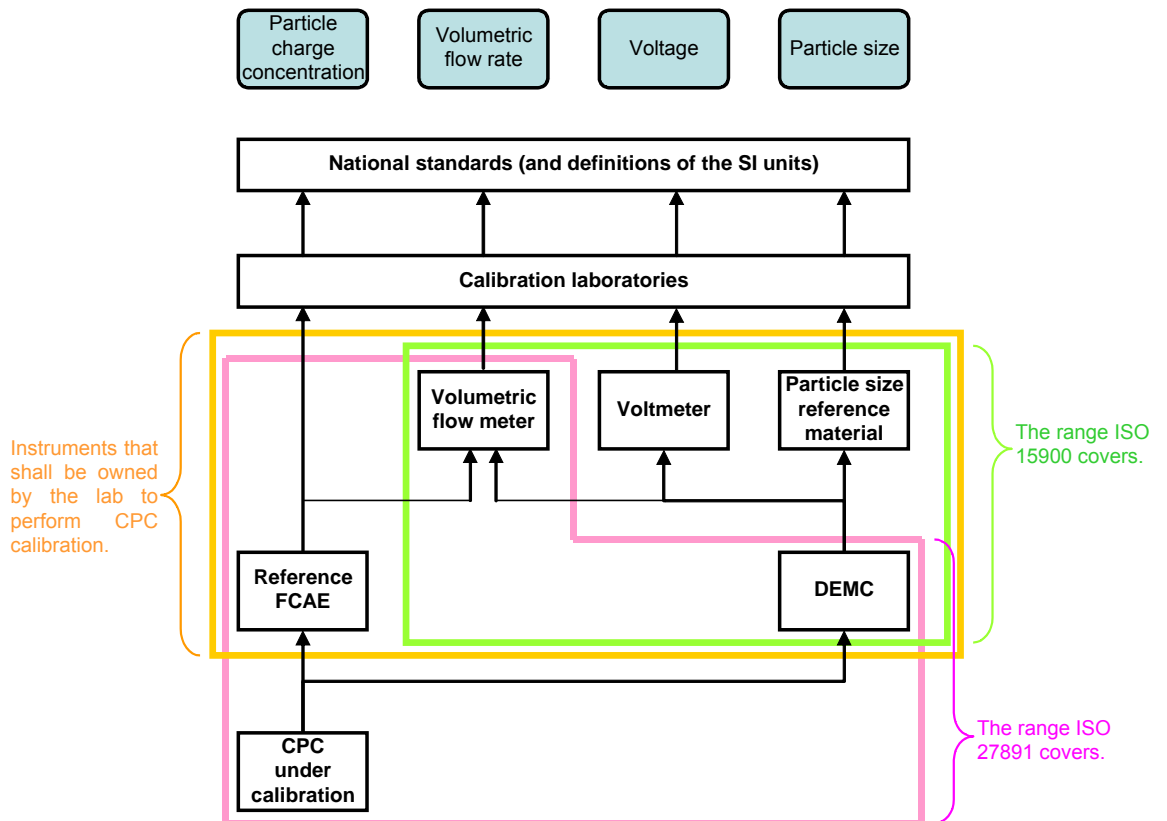


圖 1-10 FCAE系統追溯圖

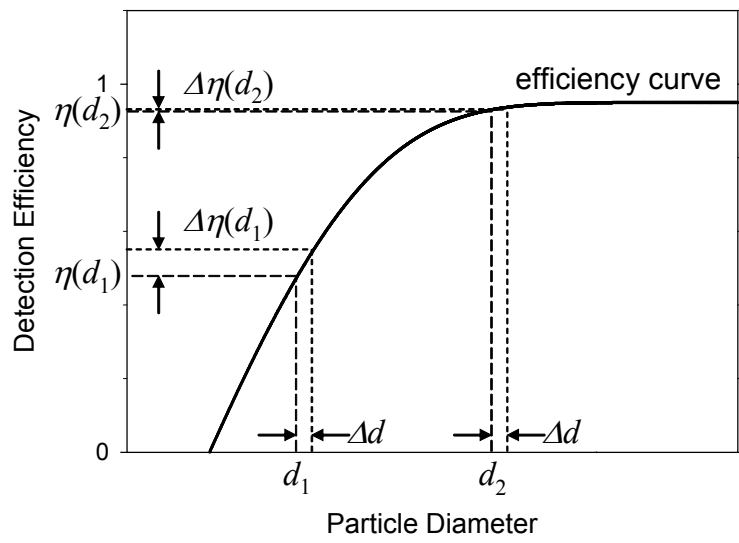


圖 1-11 CPC 粒徑誤差與濃度偵測效率關係

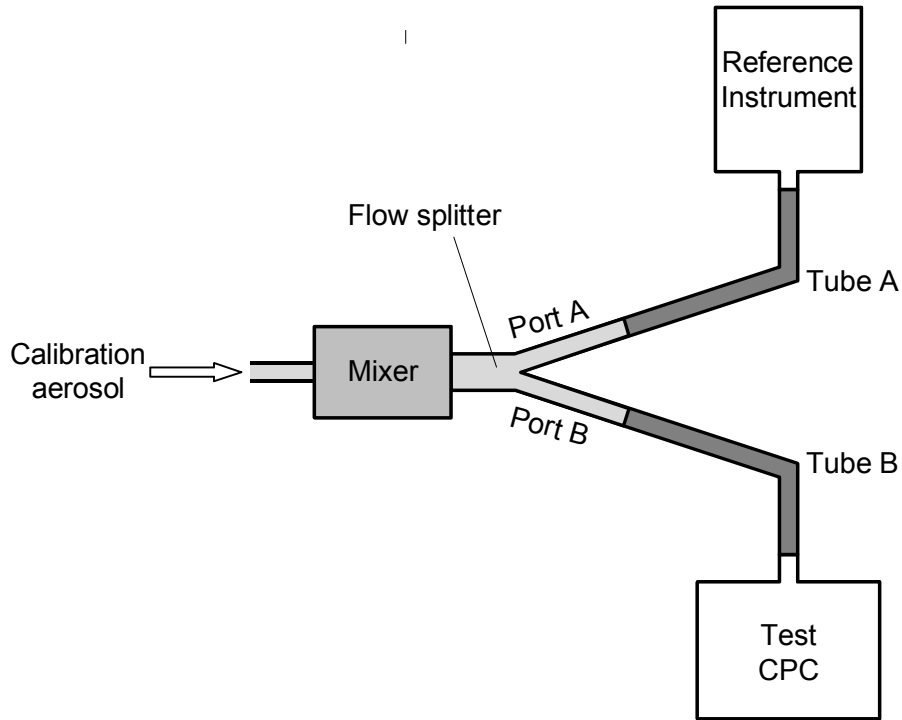


圖 1-12 系統第一次量測架設

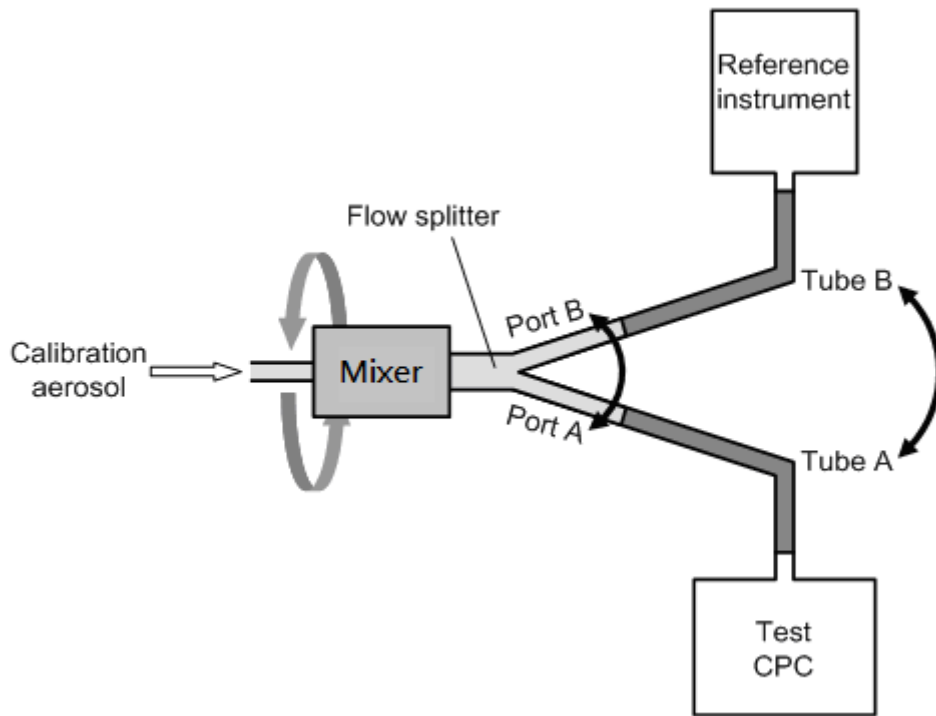


圖 1-13 系統第二次量測架設

表 1-10

Particle number concentration										
$10^3 \text{ cm}^{-3}$										
Measurement number	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$C_{M,FCAE}$	3.93	4.02	3.96	3.96	4.00	4.03	3.99	3.95	3.94	3.95
$C_{N,CPC}$	3.31	3.29	3.28	3.30	3.29	3.28	3.31	3.30	3.31	3.33

表 1-11

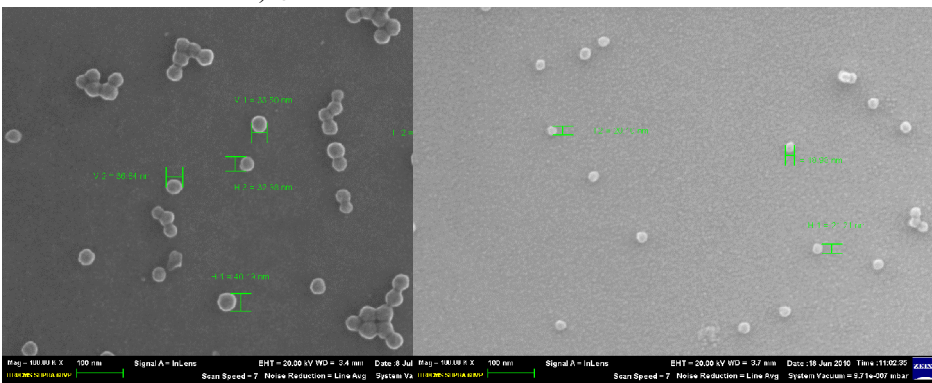
Concentration ratio											
No.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Mean
$r_i$	0,842	0,818	0,828	0,833	0,823	0,814	0,830	0,835	0,840	0,843	0,831

### (三) 奈米粒子參考物質研製技術( $\text{SiO}_2$ , Ag)。

在二氧化矽奈米粒子的研製上，參考 Stöber 方法[1-3]製備出 30 nm 均一粒徑二氧化矽粒子，製備所需的材料有四乙氧基矽烷單體(Tetraethoxysilane, Shin-Etsu Chemical, Japan)、左旋精氨酸(L-Arginine 98.0 %, Aldrich, USA)。環己烷(Cyclohexane 99.5 %, Scharlau, Spain)、去離子水(>18.0 MΩ cm)。

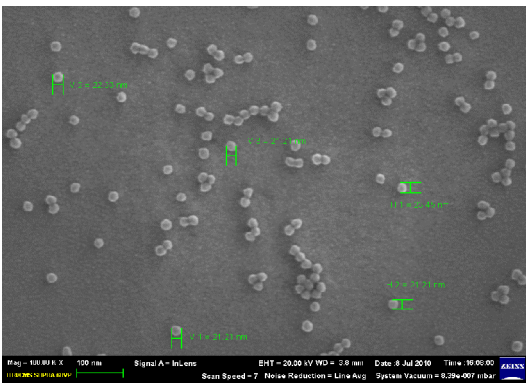
首先將 0.0455 g 的左旋精氨酸加入到 34.5 g 的去離子水中，並在 60 不同攪拌速率 160 rpm 下混合，接著將 4.2 mL 的四乙氧基矽烷單體與 2.88 g 環己烷混合後，沿杯壁緩慢滴入混合液中反應 20 h 即可獲得不同粒徑大小的均一粒徑二氧化矽奈米粒子。

圖 1-14 為不同轉速(160 rpm, 320 rpm, 及 480 rpm)的攪拌下所合成的二氧化矽奈米粒子樣本，圖 1-14 為不同轉速的攪拌下所合成的二氧化矽奈米粒子 SEM 影像，其中圖 1-14(a) 為 160 rpm，圖 1-14(b) 為 320 rpm，圖 1-14(c) 為 480 rpm；圖 1-15 所示為利用 DMA 量測結果。從 SEM 和 DMA 的量測結果可看出，攪拌轉速較低時(如 160 rpm)，粒子尺寸分佈較寬，難獲得尺寸均一粒子；攪拌轉速較高時(如 320 rpm 及 480 rpm)，相對可以製造出單一粒徑的粒子(如 320 rpm 的 DMA 量測值為 23.3 nm，及 480 rpm 的 DMA 量測值為 25.0 nm)，且團聚現象較不明顯。



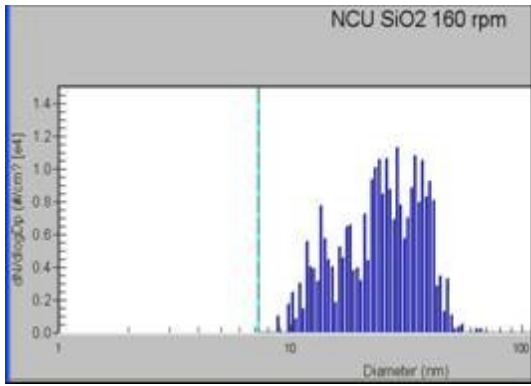
(a) 攪拌轉速 160 rpm

(b) 攪拌轉速 320 rpm

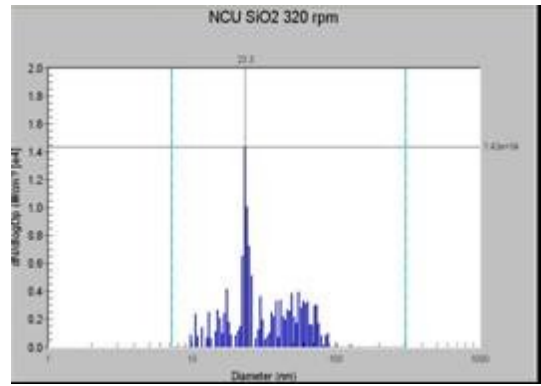


(c) 攪拌轉速 480 rpm

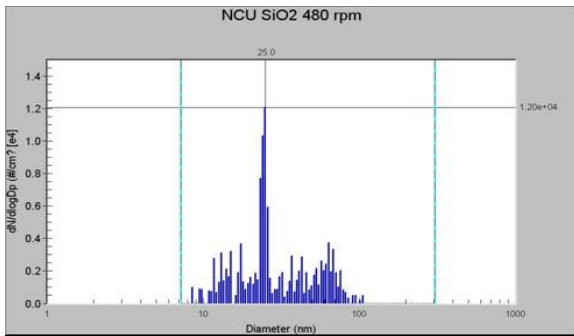
圖 1-14 不同攪拌轉速合成之二氧化矽奈米粒子 SEM 影像圖



(a) 攪拌轉速 160 rpm



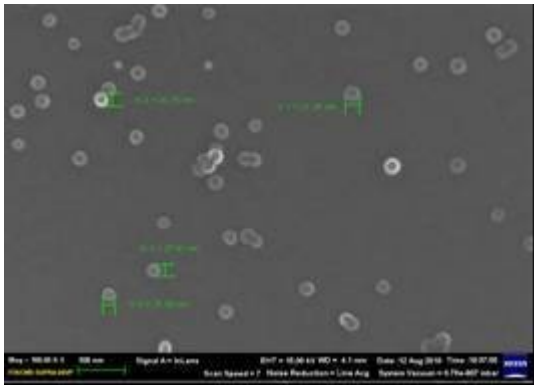
(b) 攪拌轉速 320 rpm



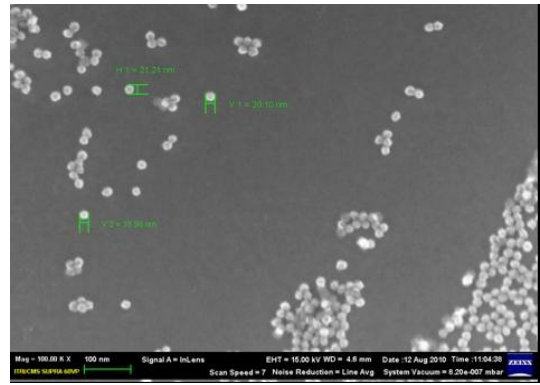
(c) 攪拌轉速 480 rpm

圖 1-15 不同攪拌轉速合成之二氧化矽奈米粒子 DMA 量測結果

分析圖 1-15 的量測結果，轉速 320 rpm 以上，可以減少合成時多核成長及合成後的聚集。另外，嘗試改變粒子溶液的 pH 值，希望能瞭解是否為合成後造成的聚集，圖 1-16 為調配 3 種不同 pH 值溶液的 SEM 影像，圖 1-16 (a) 的溶液 pH 值為 1，圖 1-16 (b) 的溶液 pH 值為 3，圖 1-16 (c) 的溶液 pH 值為 5。圖 1-17 為溶液中加入界面活性劑 SDS(Sodium Dodecyl Sulfate)後的 SEM 影像。

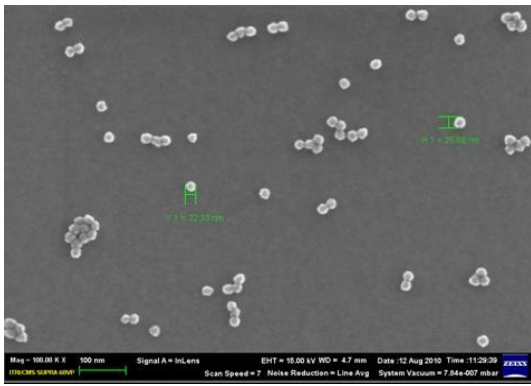


(a) pH=1



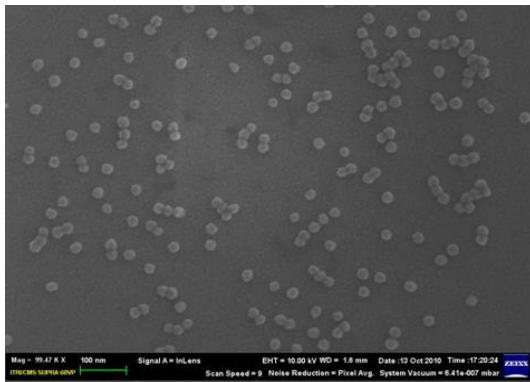
(b) pH=3



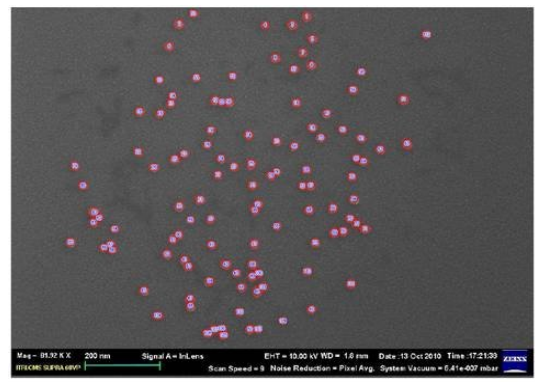


(c) pH=5

圖 1-16 不同 pH 溶液之二氧化矽奈米粒子 SEM 影像



(a) 不含介面活性劑



(b) 含介面活性劑

圖 1-17 加入 SDS 之二氧化矽奈米粒子 SEM 影像

圖 1-17(b)為利用商用軟體選取欲分析的奈米粒子，量測結果為平均粒徑  $X_{mean}=24.3$  nm 與標準差  $S=2.1$  nm，DMA 量測值 mode 值為 25 nm。

奈米銀製作：

本計畫使用(藥品如表 1-12)硝酸銀( $AgNO_3$ , 99.9%, Aldrich)做為銀的前驅物，溶於乙二醇(ethylene glycol, 簡稱 EG, 99.9%, Aldrich)和聚乙烯吡咯烷酮(PVP,  $M_w = 10000$ , Aldrich)混合溶液中，而 PVP 溶液在此反應中可當做表面保護劑以避免在生成奈米銀粒子時產生聚集[1-4][1-5]。

將所合成之溶液於室溫(22 )且開始加熱至 120 並加以攪拌，升溫速率維持為 7.5  $^{\circ}C/min$ ，持溫 30 分鐘。當反應完成後，將溶液冷卻至室溫。方程式(1-14、1-15)為此反應之化學方程式。

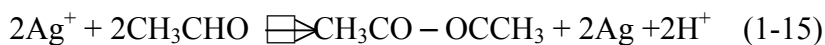
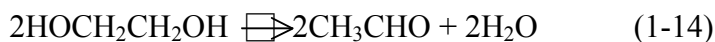


表 1-12 銀奈米粒子製程參數。

Chemicals	AgNO <sub>3</sub> , Ethylene glycol, PVP
Temperature	120 °C
Time	30 min

為了將奈米銀粒子萃取出來，利用離心技術，且加入丙酮(量為原液的四倍)，轉速維持於每分鐘 1200 rpm 持續 10 分鐘。結束之後，取出上層溶液，加入去離子水置換，最後再經過 0.45 微米之過濾器過濾。圖 1-18 為本實驗奈米銀粒子簡易流程示意圖，此外，在進行銀奈米粒子過濾之過程，本實驗亦將原液過濾置換成三種溶液，分別為丙酮、乙醇以及水，後續則是將產物奈米銀粒子以旋轉塗佈的技術沉積在矽晶圓基材上，用掃描式電子顯微鏡(SEM)觀察其粒徑大小。最後將銀奈米粒子溶液，以動態光散射(DLS)量測技術量測進而比較差異。然而為了得到水溶液中奈米銀粒子的濃度，本實驗亦用感應耦合電漿發射光譜儀(ICP-OES)進行量測。

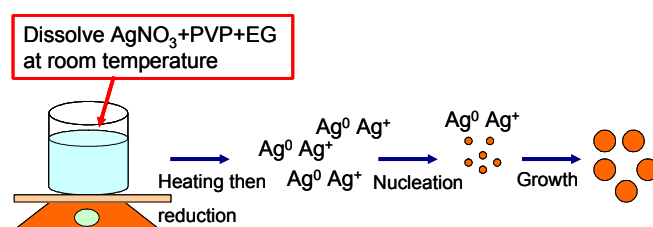


圖 1-18 銀奈米粒子製作流程。

製造過程中，大致可分為兩大步驟，第一步驟，為奈米粒子的成核成長。此研究利用硝酸銀當作前驅物，加入乙二醇當作氧化還原劑，進行氧化還原。而本計畫目的，是希望得到小粒子(小於 100 奈米)之銀粒子，所以，升溫的速度將是很大的關鍵，然而經由實驗，以每分鐘 7.5 °C 進行升溫，直到 120 °C 持溫，進行成長。

第二步驟，則是過濾，由於計畫欲得到均一且分散均勻之銀奈米粒子，所以，在過濾部分，加入不同的溶液來測試。本實驗分別探討將原液置換丙酮、乙醇和水，分別塗佈於矽基板上，利用掃描式電子顯微鏡觀察，如圖 1-19，依序為(a)原液(b)丙酮(c)乙醇(d)去離子水，由圖中可以發現，原液有大量奈米粒子聚集，且基本上殘留較多溶劑，無法去除，而置換成丙酮，發現殘留溶劑變少了，並且粒子還有聚集現象，而加入乙醇，以及水中，可以看出溶劑幾乎沒有殘留，也無太多聚集，標準奈米粒子由於可能用於生物或其他應用，故需將溶液置換成水溶液。

圖 1-20 為銀奈米粒子之形貌，由圖可以看出銀奈米粒子，分散均勻，且無多餘之溶劑殘留，其直徑大約為 27.3 nm。

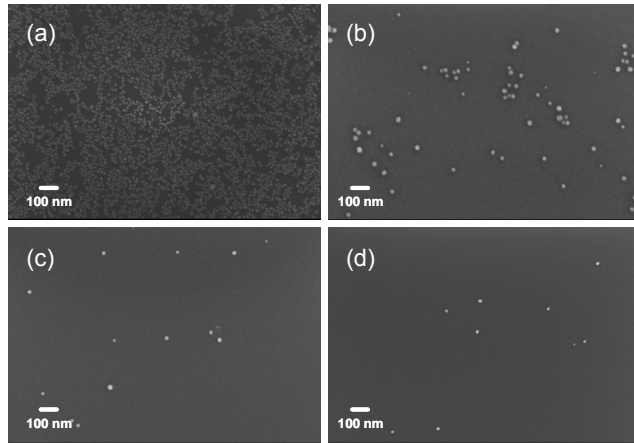


圖 1-19 利用掃描式電子顯微鏡觀察銀奈米粒子形貌(a) 未過濾之原液(b) 置換於丙酮溶液中(c)置換於乙醇中(d)置換於水中，塗佈於矽晶圓上觀察。

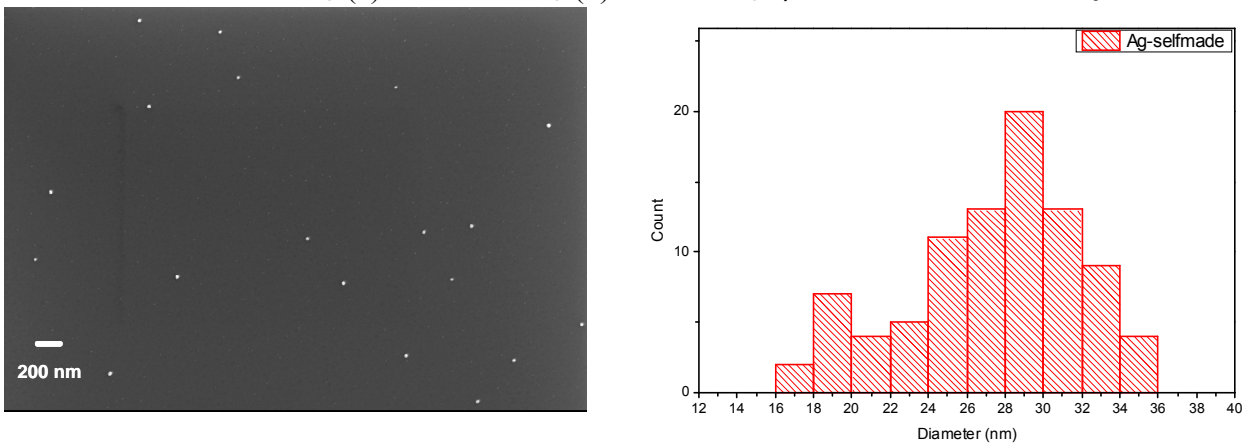


圖1-20 PVP包覆之奈米銀外觀與粒徑分布圖。平均粒徑27.3 nm，CV=16 %

此外，將此溶液以動態散色法量測粒子如圖 1-21，量測七次結果如表 1-13，其量測值直徑，此七次作平均，可得平均直徑約 22.5 nm，標準差為 1.1 nm。

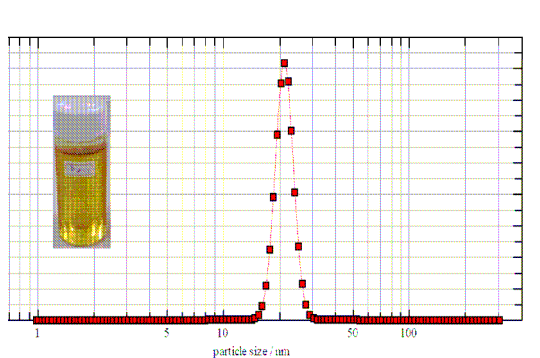


圖 1-21 利用動態光散射量測法(DLS)量測銀奈米粒子之粒子半徑。

表 1-13 利用 DLS 量測七次之資料。

次數	1	2	3	4	5	6	7
2nd cumulant diameter (nm)	22.04	21.53	21.2	22.85	22.28	22.87	24.81
Distribution width (%)	11.24	15.32	31.38	25.7	18.19	13.96	13.15

至於純度分析的部分，本實驗利用感應耦合電漿發射光譜儀偵測銀奈米粒子的濃度而量測結果為  $136 \pm 5 \mu\text{g/mL}$ 。

表 1-14 純度與特性分析

量測	數值
銀濃度	$(136 \pm 5) \mu\text{g/mL}$
$\text{NO}_3^-$ 濃度	760 ppm
$\text{Cl}^-$ 濃度	< 1 ppm
pH	7.3

考慮奈米生物領域的應用，如生物成像，尤其是在表面增強拉曼光譜 (SERS)、食品與藥品添加物等。傳統的化學合成法將會局限奈米銀粒子的應用方向，如在生物醫學的應用上將不太適合，其主要是因為在合成過程中使用的化學藥品具有毒性，因而不適用於生物醫學上的發展。因此，FY100 利用無毒的化學藥品及對環境無害以及可再生之材料來製備合成穩定的銀奈米粒子，因而我們將採用胺基酸(精胺酸 賴氨酸)、 $\alpha$ -葡萄糖及可溶性澱粉來代替其原本的化學藥品，配合硝酸銀來合成出穩定且無毒的銀奈米粒子。在此實驗過程中胺基酸及  $\alpha$ -葡萄糖將扮演著還原劑的角色，促使銀水溶液中的銀離子還原成銀粒子，澱粉將擔任介面活性劑的角色附著在粒子的表面保護粒子，主要是因為澱粉中的氫氧官能基 (hydroxyl group) 可以吸附在粒子表面當保護劑，促使粒子不會團聚且能有效的分散在溶液中。

準備硝酸銀當起始反應物以精胺酸當還原劑利用可溶性澱粉做保護劑，以熱裂解方式製備出銀的奈米粒子。硝酸銀(2 mmol)、精胺酸(0.16 mmol) 以及不同含量的可溶性澱粉如表 1-15，放入三口瓶內再添加去離子水(8 mL)加熱至  $80^\circ\text{C}$  並持溫 30 分鐘，期間並已磁石強力攪拌。反應後之產物以酒精進行離心清洗，所得之產物經由 XRD 及 UV 進行鑑定分析得知為銀奈米粒子。

表 1-15 綠色製造奈米銀製程參數

編號	硝酸銀 mmol	澱粉 mmol	精胺酸 mmol	去離子水 mL	/min
B3	2	0.4	0.16	8	80/30
B8	2	0.2	0.16	8	80/30
B9	2	0.1	0.16	8 <td 80/30	
B10	2	0.05	0.16	8	80/30
B7	20	0.4	0.16	8	80/30

。

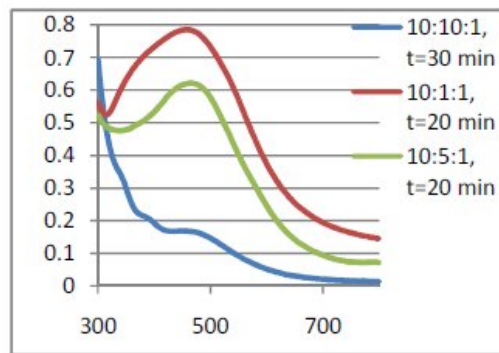
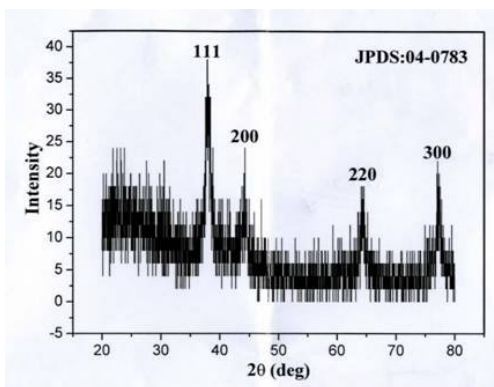
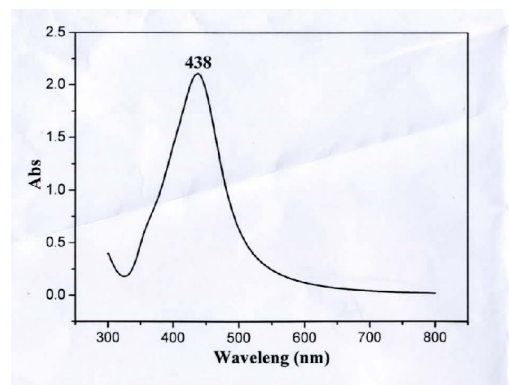


圖 1-22 奈米銀粒子 UV 光譜圖。奈米銀以不同比例的硼氫化鈉：氯乙酸：硝酸銀配置結果。

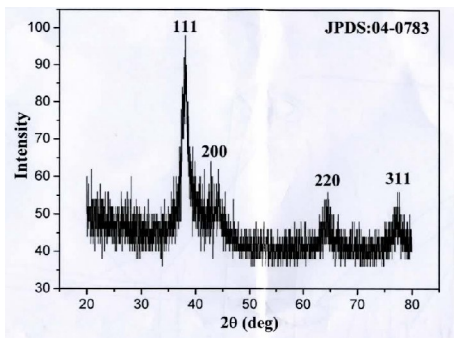


a. 20 nm 銀粒子 EDS 分析

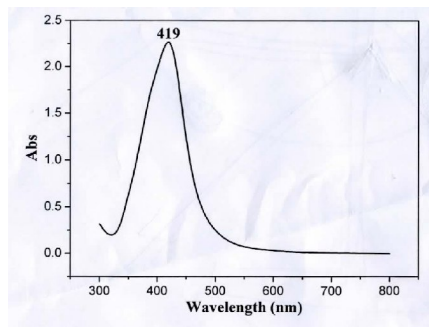


b. 20 nm 銀粒子 UV 光譜分析

圖 1-23 SEM 以 EDS 與 UV 光譜分析樣本組成。



c. 50 nm 銀粒子 EDS 分析



d. 50 nm 銀粒子光譜 UV 分析

圖 1-23 SEM 以 EDS 與 UV 光譜分析樣本組成。

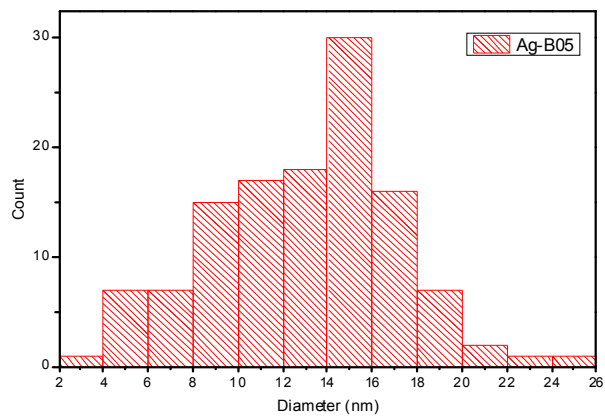
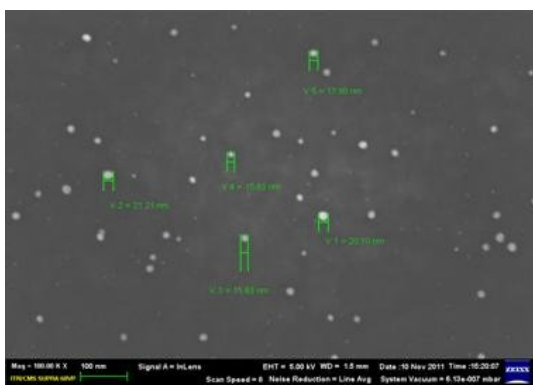
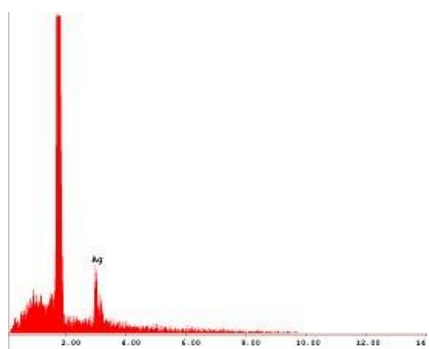


圖 1-24 SEM 量測澱粉包覆的奈米銀(20 nm、50 nm)，其結果與粒徑分布。

#### (四)奈米粒子/線功能性量測標準技術建立

##### 靜電式偵測與致動微力量測系統

本計畫所發展之微力量測系統,主要由單體撓性平台與一特製之三電極電容器所構成[1-7],如圖 1-25 所示。單體撓性平台為系統中之受力彈性體,經由撓性樞軸(flexure pivot)之適當配置,可使其受力面在受力位移過程中,始終保持為水平(parallel mechanism)。三電極電容則可同時做為電容式位移偵測器與靜電力致動器,用以測量撓性平台之受力形變及產生與待測力抗衡之靜電力。

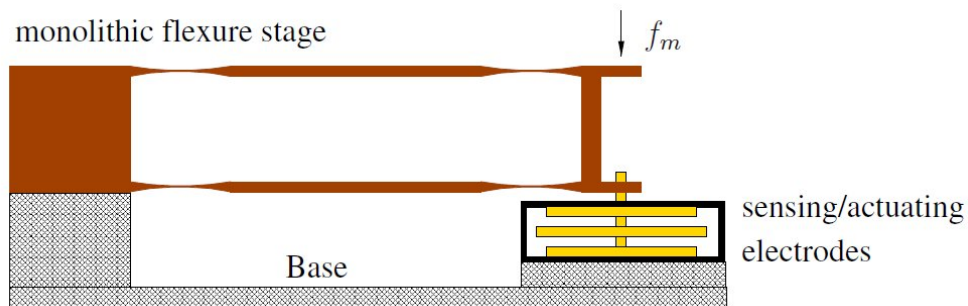


圖 1-25 靜電式偵測與致動微力量測系統概圖



圖 1-26 靜電式偵測與致動微力量測系統

位移偵測在高頻處(100 kHz)完成,靜電力致動則限定在 50 Hz 之頻寬內。電極由鋁合金加工製作,並對表面採研磨處理。電極與致動電壓之配置如圖 1-27 所示,中間電極固定於撓性平台之受力端,隨平台移動,上下兩電極則固定於系統基座。位移偵測採用如圖 1-28 之差動電容偵測電路[1-7、1-8],偵測方法乃透過適當設計之橋式電路測得電容  $C_1$  與  $C_2$  之差值,此差值與形變量  $x$  成正比。兩電極之間的靜電力  $f_e$  可以下式表示

$$f_e = \frac{1}{2} \frac{dC}{dx} V^2 \quad (1-16)$$

由電極之間之電容梯度  $dC/dx$  與電壓決定，為相互吸引之力量。由於此系統使用三片電極，靜電力可由適當之電壓配置使其大小正比於控制電壓  $v_a$ ，且方向為向上或向下。根據圖 1-27 之電壓配置，靜電力  $f_e$  可表示為

$$f_e = 2 \frac{dC}{dx} \Big|_{x=0} V_b v_a \quad (1-17)$$

可追溯至電容、電壓與長度標準。

在零位移控制方面，我們以 FPGA 架構之高速數位控制器，擷取差動電容訊號並控制補償靜電力之大小，以使撓性平台之形變保持為零。誤差訊號之濾波運算為  $PI^2$  (Proportional-Integral-Integral) 型式，可抑制撓性平台之共振模與降低回饋靜電力之雜訊。

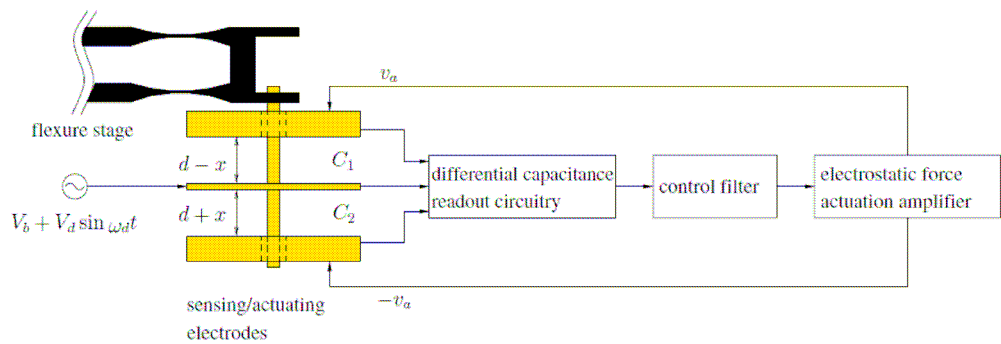


圖 1-27 差動電容偵測與靜電力致動

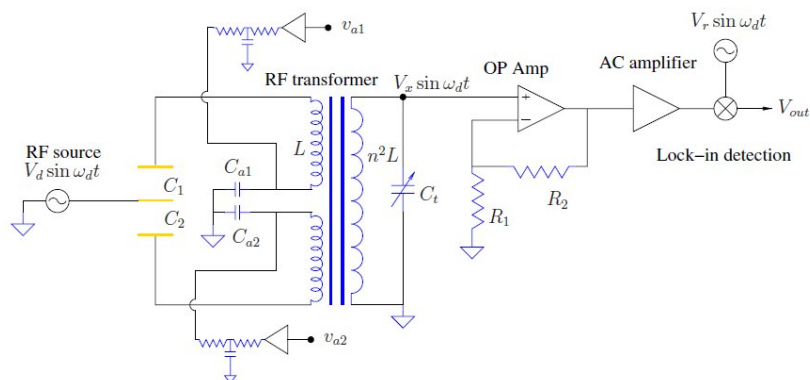


圖 1-28 差動電容偵測電路



產生靜電力漂移之主要來源為電極表面電壓變化以及致動電壓本身之漂移，以兩片電極之間之靜電力為例，根據等式(1-1)靜電力為  $f_e = \frac{1}{2} \frac{dC}{dx} V^2$ ，電位差  $V$  為致動電壓  $V_a$  與表面電壓  $v_s$  之合： $V = V_a + v_s$ ，所以靜電力  $f_e$  為

$$f_e = \frac{1}{2} \frac{dC}{dx} (V_a^2 + v_s^2 + 2V_a v_s) \quad (1-18)$$

靜電力除了與電壓本身之平方項  $V_a^2$ 、 $v_s^2$  成正比外，亦與最後一項之乘積項  $2V_a v_s$  成正比，亦即表面電壓  $v_s$  之效應將透過致動電壓放大。以電容梯度  $\frac{dC}{dx} = 5.46 \times 10^{-8}$  F/m，欲產生靜電力，則所需之致動電壓約為 20 伏；而表面電壓可能之範圍在 20 mV 至 180 mV 之間[1-9, 1-10, 1-11]，所以表面電壓可能被放大至數百倍。為解決此問題，我們將  $V_a$  調變在音頻範圍，則表面電壓與致動電壓乘積項之效應亦往音頻處移動，再將上撓性平台本身之低通濾波之能力，可將測力頻寬內之乘積項  $V_a v_s$  之靜電力雜訊降至最低。圖 1-29 為兩種致動方式所得到之結果，直流致動電壓有較大之線性漂移。

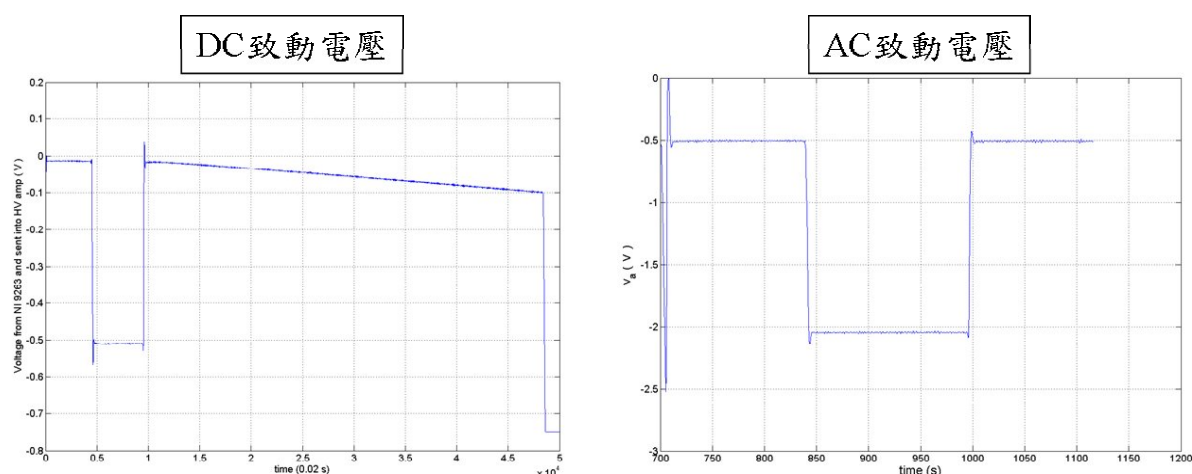


圖 1-29 靜電力致動之改良

### 毫克法碼質量追溯

本計畫以毫克等級之法碼，產生範圍在  $10 \mu\text{N}$  至  $200 \mu\text{N}$  間之靜法碼力並與靜電力平衡力量量測系統比對。在進行比對之前，靜法碼力與靜電力皆須完成其相關物理量之追溯量測，以確保其 SI 單位之追溯性。

在靜法碼力  $f_g = mg$  之追溯量測方面，須量測實驗室之重力加速度  $g$  值與法碼質量。實驗室之重力加速度  $g$  值，可直接引用實驗室旁之重力基準點之值，此參考點定期以絕對重力加速度測量儀 (free-fall method) 進行  $g$  值量測。我們參考自 1991 至 2009 年之量測結果，測得之  $g$  值可穩定至小數點以下第六位，其值為  $g = 9.789140 \text{ m/s}^2$ 。本計

畫使用之法碼為 OIML R111 E1 等級之線狀法碼，校正所使用之標準件為不銹鋼標準法碼（符合 OIML R111 之 E1 建議規範），序號為 119886，此標準件追溯至國家度量衡標準實驗室，追溯編號為 B990569 及 B990850，追溯日期為 2010 年 8 月 25 日及 2010 年 10 月 5 日，校正週期為 3 年。根據表 1-15 之法碼校正結果，1 mg 法碼所產生之靜法碼力不確定度約為 3 nN。

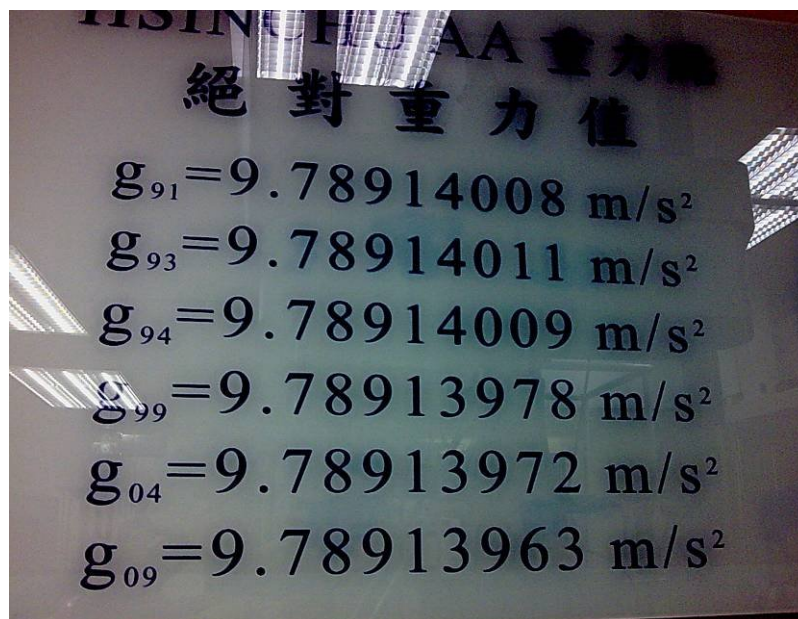


圖 1-30 絕對重力加速度基準點

表 1-15 毫克等級法碼質量校正結果

送校法碼標稱值 (mg)	記號	送校法碼約定質量 (mg)	擴充不確定度 (mg)	擴充係數
1	一鈎	1.00096	0.00030	1.98
送校法碼標稱值 (mg)	記號	送校法碼約定質量 (mg)	擴充不確定度 (mg)	擴充係數
1	無	1.00109	0.00030	1.98
送校法碼標稱值 (mg)	記號	送校法碼約定質量 (mg)	擴充不確定度 (mg)	擴充係數
2	無	2.00116	0.00030	1.97
送校法碼標稱值 (mg)	記號	送校法碼約定質量 (mg)	擴充不確定度 (mg)	擴充係數
2	一鈎	2.00113	0.00030	1.97
送校法碼標稱值 (mg)	記號	送校法碼約定質量 (mg)	擴充不確定度 (mg)	擴充係數
5	無	5.00116	0.00065	2.23
送校法碼標稱值 (mg)	記號	送校法碼約定質量 (mg)	擴充不確定度 (mg)	擴充係數
5	一鈎	5.00124	0.00065	2.23
送校法碼標稱值 (mg)	記號	送校法碼約定質量 (mg)	擴充不確定度 (mg)	擴充係數
10	無	10.00134	0.00048	2.21
送校法碼標稱值 (mg)	記號	送校法碼約定質量 (mg)	擴充不確定度 (mg)	擴充係數
10	一鈎	10.00201	0.00048	2.21
送校法碼標稱值 (mg)	記號	送校法碼約定質量 (mg)	擴充不確定度 (mg)	擴充係數
20	一鈎	20.00075	0.00027	1.98
送校法碼標稱值 (mg)	記號	送校法碼約定質量 (mg)	擴充不確定度 (mg)	擴充係數
20	無	20.00157	0.00027	1.98

### 靜電力標準追溯

兩電極間之靜電力由等式(1-16)所示，由電極間之電位差  $V$  與電容梯度  $dC/dx$  所決

定，相關之物理量有電壓、電容與長度。圖 1-31 為靜電力追溯量測之架構，電位差  $V$  與電容梯度  $dC/dx$  分別透過數位電表、精密電容電橋與雷射干涉儀追溯至電壓、電容與長度標準。追溯量測中所使用之儀器列於表 1-16。

表 1-16 靜電力追溯量測使用之儀器

儀器廠牌型號	序號	校正報告編號	追溯標準
雙模氦氖穩頻雷射 HP 5517C	3002A00362	B990494	D16 穩頻雷射校正系統
數位電錶 Agilent 34410A	MY47023454	34410AMY47023454	Agilent Standards
精密電容電橋 AH 2700A	00700227	E2271	NIST Traceable Reference Capacitors (TRC)

由等式(1-2)，系統中補償靜電力之大小由偏壓  $V_b$  與控制電壓  $v_a$  所控制，控制電壓  $v_a$  之大小與待測力  $f_m$  相關，為一可變量。在測力過程中，由於中間電極與上下電極始終維持在相等間距之狀態，所以電容梯度  $dC/dx$  為一定值。電容梯度由電極之面積、幾何形狀與電極間距所決定。實際量測過程中，我們先以差動電容偵測電路(圖 1-28)之輸出做為參考，將中間電極調整至平衡點之附近，接著以壓電移動平台使中間電極產生  $\pm 2 \mu\text{m}$  之位移調變，接著我們以雷射干涉儀與精密電容電橋同時量測位移與電容之訊號，如圖 1-32(a)與圖 1-32(b)中虛線所示，電容梯度則由線性擬合(圖 1-32(b)實線)之方法求得。由五千多筆之擬合數據，我們所測得之電容梯值為  $(5.46 \pm 0.13) \times 10^{-8} \text{ Fm}^{-1}$ ，其中括號中所列之不確定度為一倍標準差(one standard deviation)。

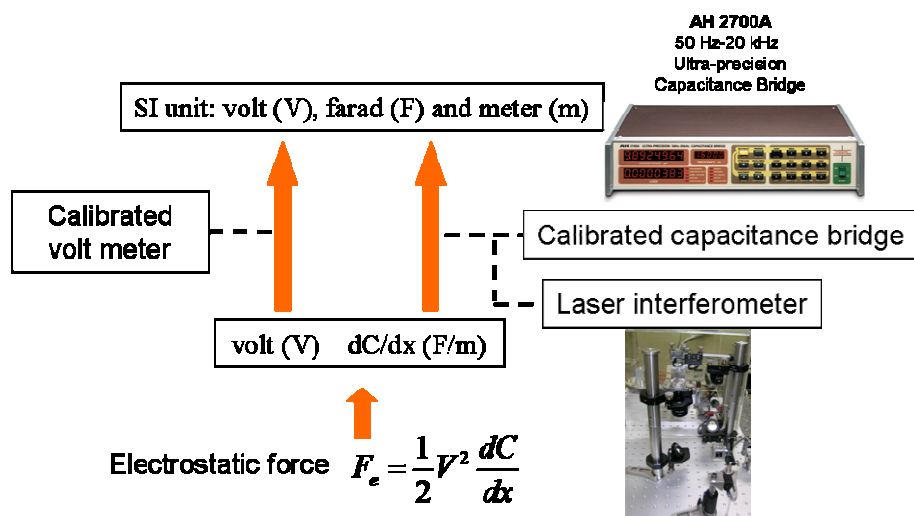


圖 1-31 靜電力追溯量測

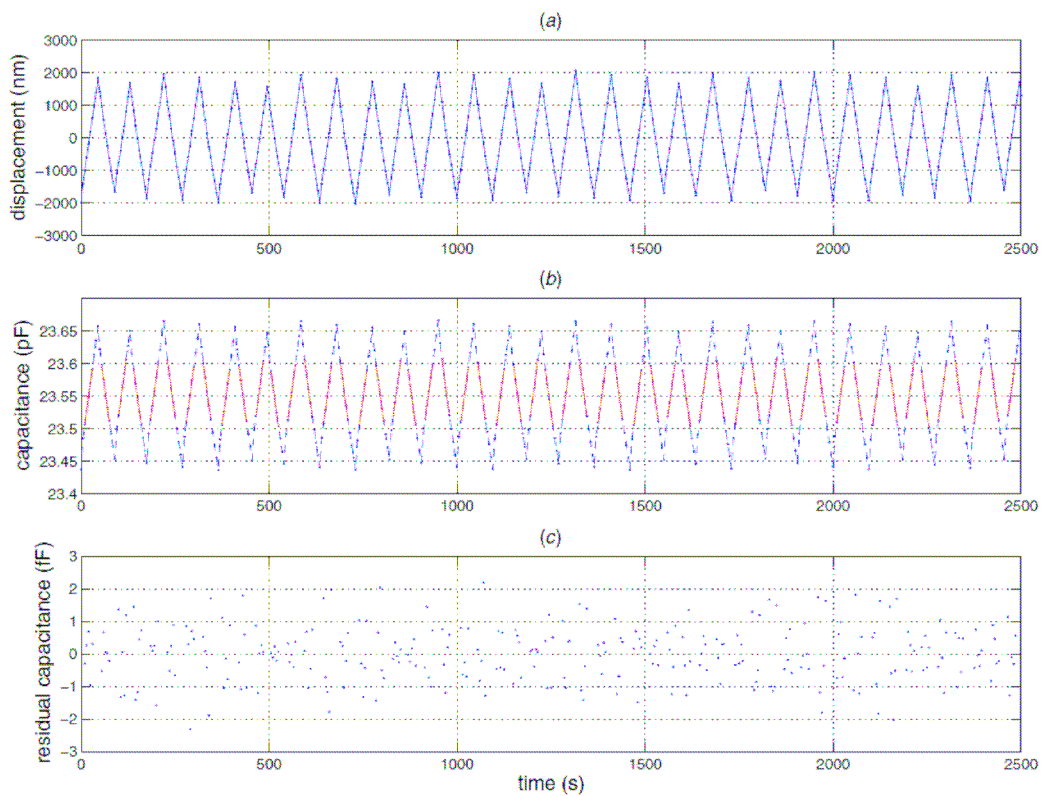


圖 1-32 電容梯度追溯量測

### 1 mg 法碼重力與 10 $\mu\text{N}$ 靜電力平衡實驗

等級 OIML class E1 之 1 mg 法碼產生  $f = mg = 9.789 \mu\text{N}$  之向下力量，此力量由補償靜電力透過前述方法達成平衡，使撓性平台之位移保持為零。法碼之負載與卸載由自動升降平台完成，量測所有過程皆由電腦控制完成，共進行了 5000 多次之靜法碼力量測。力量之計算方式採用 ABA 法，以其中一組數據圖 1-33 為例，圖中記錄了法碼卸載-負載-卸載之過程，圖 1-33(a)、(b)分別為撓性平台位移與補償靜電力之對應變化。力量之計算方法如下

$$\Delta f_e = f_B - \frac{f_{A1} + f_{A2}}{2} \quad (1-19)$$

其中  $f_B$  與  $f_{A1}$ 、 $f_{A2}$  分別為法碼負載與卸載區段之平均靜電力，此組數據所得到之靜電力為  $\Delta f_e = 9.777 \mu\text{N}$ 。圖 1-34 為 1300 次之量測結果，靜電力平均值為  $9.785 \mu\text{N}$ ，一倍標準差為 7 nN。

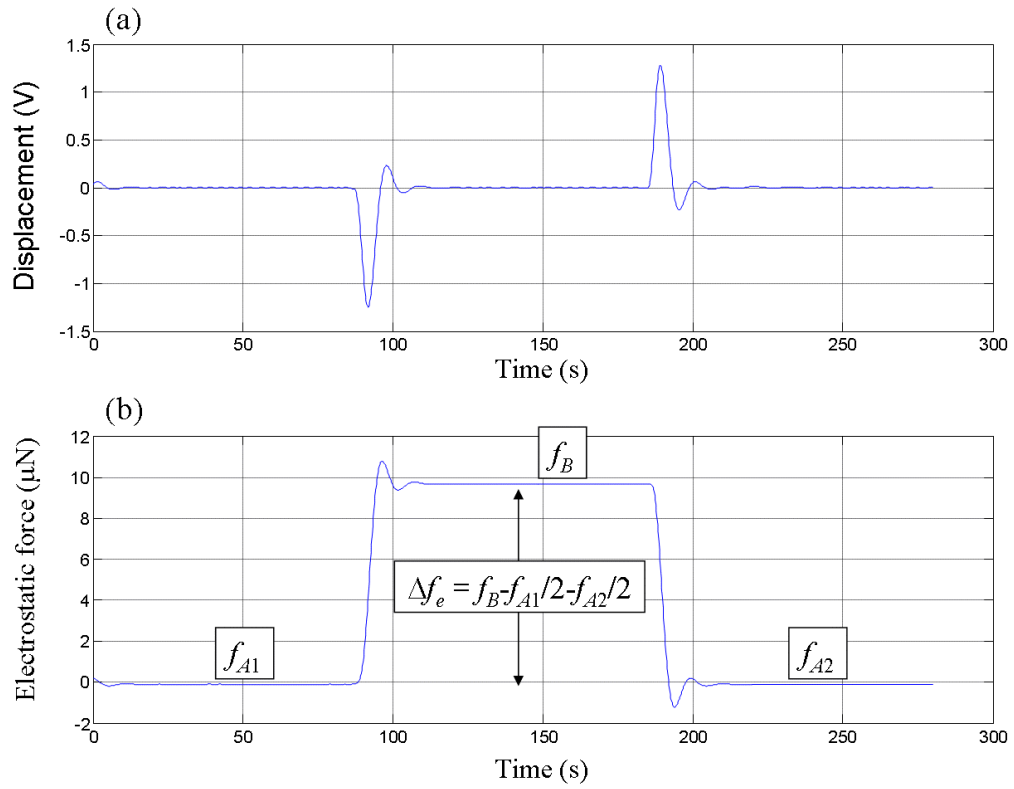


圖 1-33 以靜電力平衡 1 mg 靜法碼力之過程

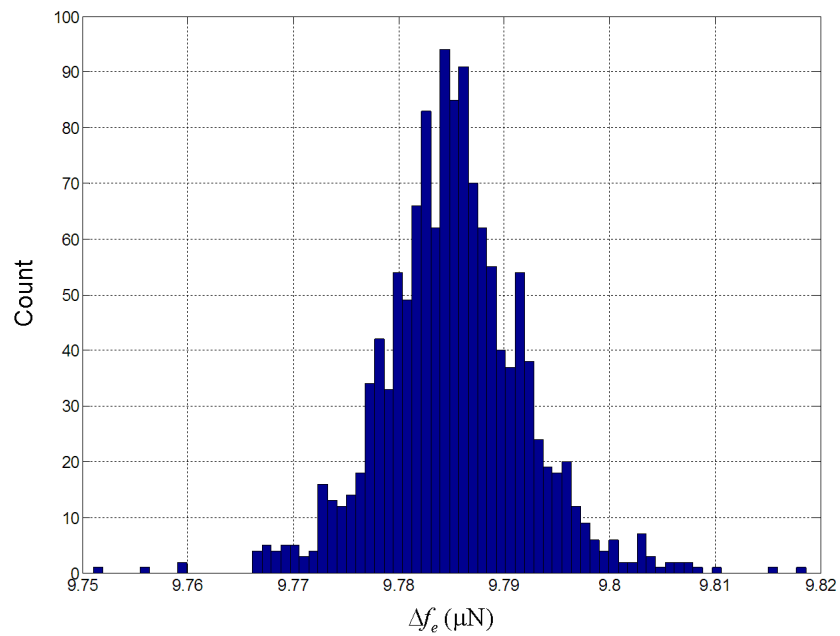


圖 1-34 靜電力與靜法碼力平衡 1300 次實驗結果之分布圖

## 微懸臂樑(傳遞標準)力常數量測

微力除了標稱值的追溯外；另外的重點是力量傳遞標準件的測定。我們自行開發了奈米微力量測機構，可使用 Femtotools 公司所出產之電容感測式微力元件(FT\_S540)，進比較驗證，同時電容感測式微力元件，有不錯精度，經測定它的測力範圍可至  $200 \mu\text{N}$ ，剛好是毫克法碼(1、2、5、10、20) mg 質量追溯之範圍，是很好的微力傳遞標準件，將來可用來校正其他微力感測器。以下完成使用標準微量校正天平以直壓校正方法，來校正 FT\_S540，並進行線性迴歸分析。圖 1-35 是微力元件(FT\_S540)各部組圖：

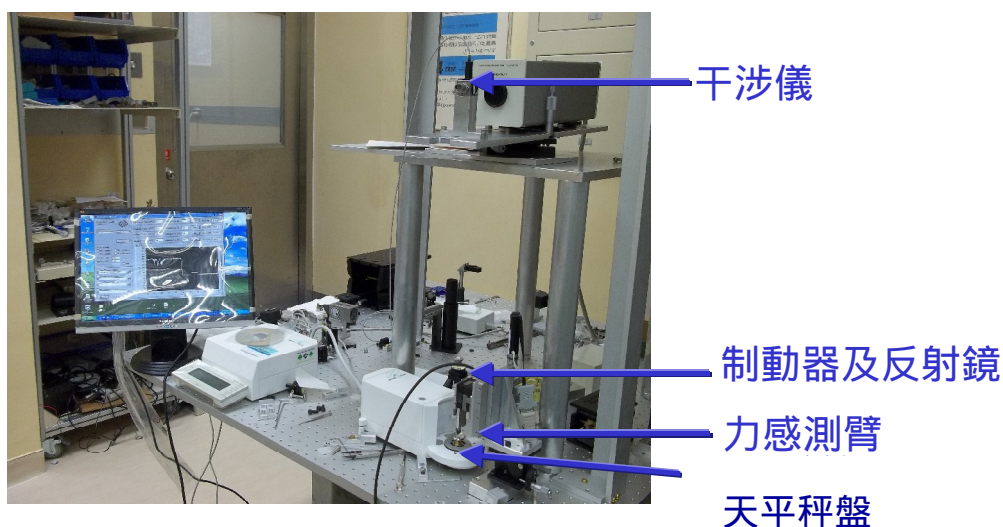
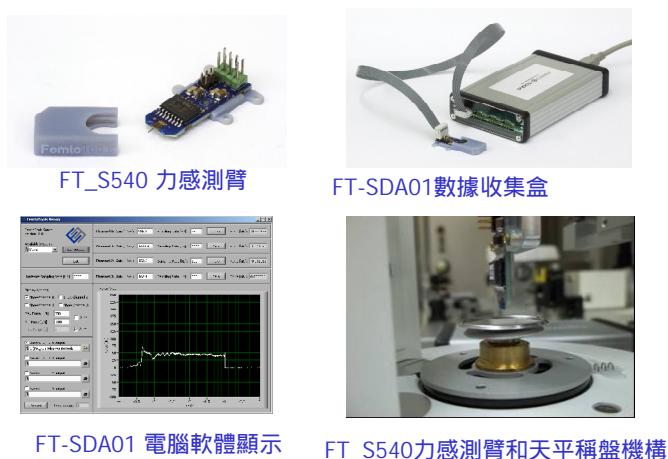


圖 1-35 力感測元件(FT\_S540)校正機構圖

使用制動器驅動 FT\_S540 對天平秤盤施力，以 IPC 記載施力大小以及干涉儀施力位移。得到如下圖 1-36，1-37 之結果：天平讀值和位移讀值以及施力感測元件力量讀值。圖 1-36 為感測元件 FT\_S540 之力量範圍；而由圖 1-37 測得 FT\_S540 的彈性常數為  $73.166 \text{ N/m}$ ；

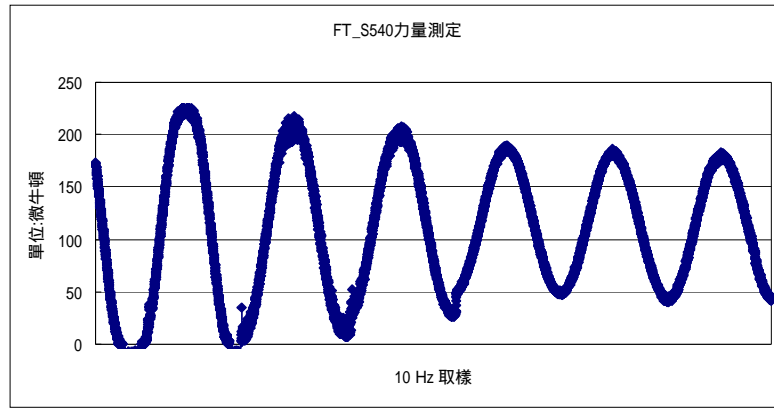
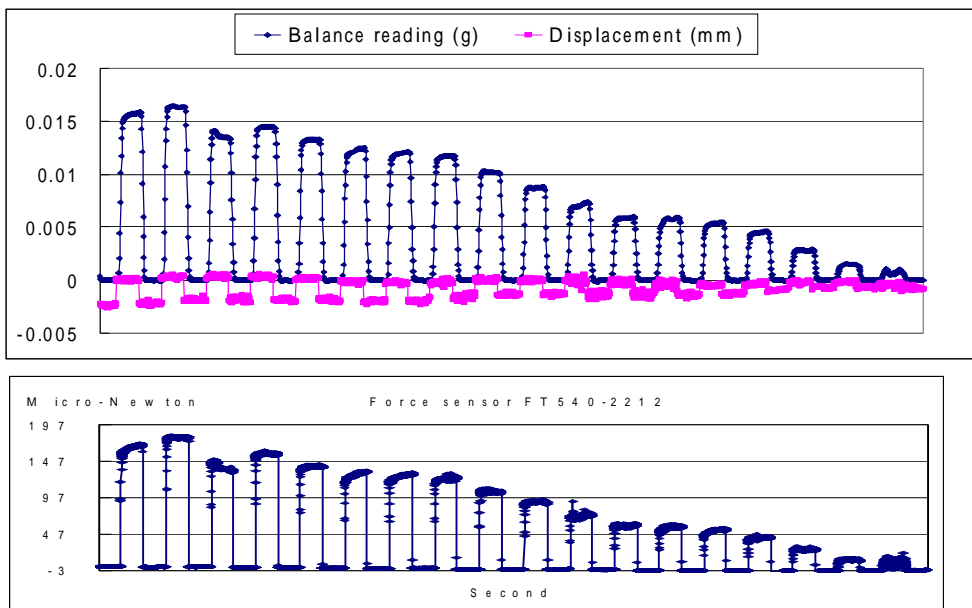
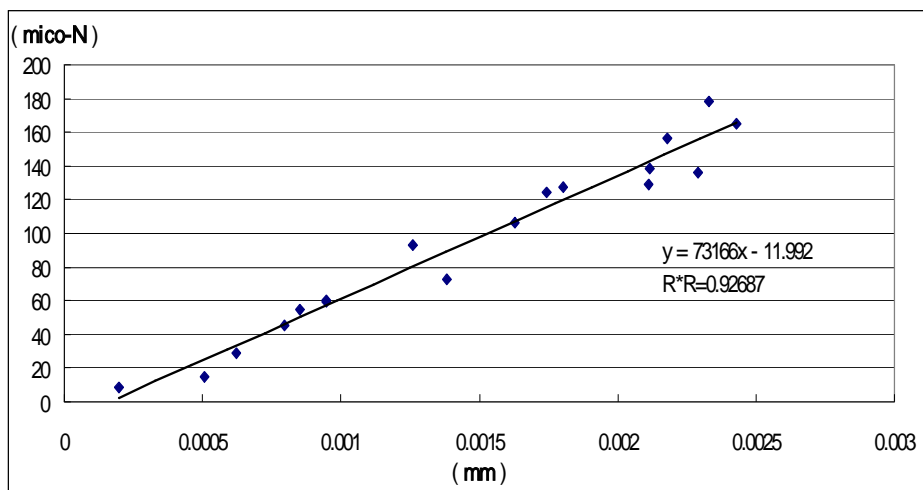


圖 1-36 FT\_S540 力量測定範圍和力量位移關係圖



力量感測元件FT\_S540測得施力和位移



力常數=73.166N/m

圖 1-37 力量感測和位移關係圖



而 FT\_S540 測得力量和天平測得力量表為圖 1-38。

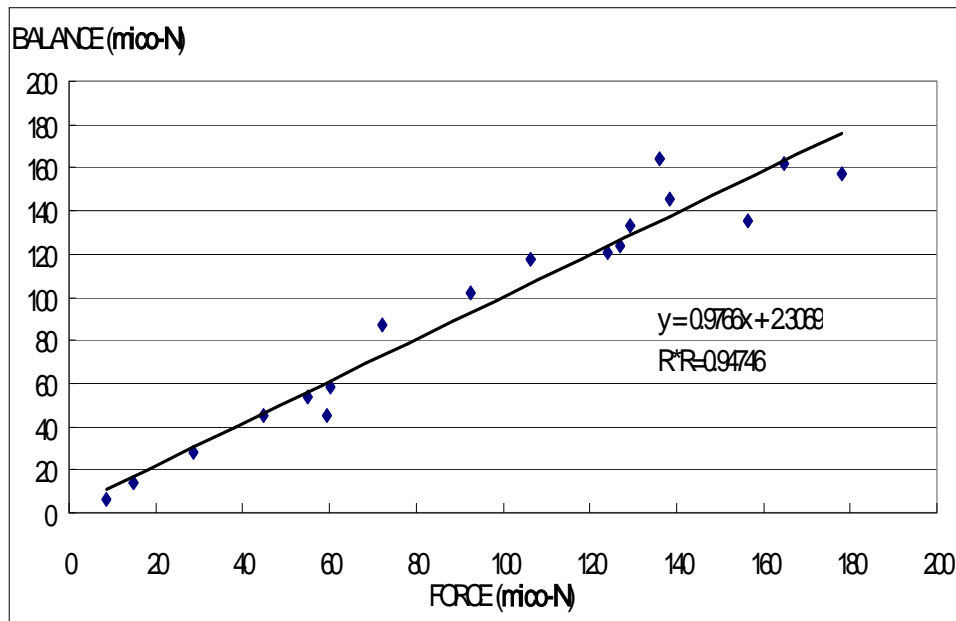


圖 1-38 天平對 FT\_S540 微力感測元件之校正迴歸

橫軸為 FT\_S540 測得力量而縱軸為天平測得力量。整體相關係數 R 為 0.97。由於元件體積小具模組化特色，已於 2011APMF 會議中建議 FT\_S540 為將來微力比對之比對傳遞元件。

### 【突破之瓶頸】

#### (一) 追溯型 FE-ESEM 系統評估與查驗。

電子顯微鏡的量測技術主要受限於機械構造之穩定度、電子束聚焦及偏折皆以電場控制之穩定度、電子束掃過樣品之電荷累積等都會造成量測影像飄移，或是電子束打在樣品時，實際物體在邊緣，會產生異常大的訊號，無法定義實際邊界位置之邊緣效應，都會影響量測結果；在進行線距標準件量測或粒子粒徑量測時，以實際量測八分鐘內影像漂移的量，可計算出平均之飄速度，再將影像漂移的影響計入量測不確定度評估內。在邊緣效應影響，對於量測線距標準件時，是量測線條左邊緣到下一條線之左邊緣，邊緣效應在兩處應會相當，所以相對而言不會有邊緣效應影響。而在奈米粒子粒徑量測時，是採用比較量測法，對於相同尺寸等級之奈米粒徑，其受到邊緣效應可視為是相當，因此比較量測時，可以抵消這部份影響，再配合對待校件與標準件分別評估顯示畫素(pixels)造成的不確定度、掃描式電子顯微鏡最小解析度之變異、以及量測重複性等要因，於今年完成 FE-ESEM 的系統建置與量測不確定度評估工作。

#### (二) 氣相粒子等效粒徑理論分析及線上量測系統建置與初期測試與研究。

目前對於懸浮微粒的健康危害管制都是基於質量濃度 ( $\text{mg}/\text{m}^3$ )。例如，勞委會

公告的作業環境容許濃度標準 (PEL) 為  $5 \text{ mg/m}^3$  (可吸入性粉塵) 或是  $10 \text{ mg/m}^3$  (總粉塵), 環保署對於一般大氣中懸浮微粒 (PM10) 的標準值為  $150 \text{ g/m}^3$ 。但是最新的研究顯示, 奈米微粒的健康危害效應可能相當顯著, 必須以數目濃度 ( $\#/ \text{cm}^3$ ) 來管制才是適當的(Vincent, 1999)。Oberdörster (2000) 指出, 超細微粒所造成的紅腫現象遠高於細微粒的主要原因是微粒的接觸表面積顯著增加的關係。顯示奈米微粒越小, 對健康危害越大, 即使是一般被認為較無害的化學物質。Oberdörster (2001) 更進一步研究發現, 剛生成的奈米微粒 (Teflon fume,  $15 \text{ nm}$ ,  $50 \text{ g/m}^3$ ) 毒性遠遠高於已生成一段時間的奈米微粒。在氣相中生成奈米微粒的方法大多藉由同質核凝 (homogeneous nucleation) 產生原始粒子, 接著進行凝結 (condensation) 與膠結 (coagulation) 作用生成奈米微粒。在液相中產生奈米微粒, 在經由乾燥形成氣膠狀態, 亦是普遍使用的產生方法。最常用的產生方法是噴霧乾燥法 (spray and dry method)。為了產生標準的單徑氣膠, 計畫使用靜電噴霧系統 (electrospray system), 以 cone-jet 模式操作產生液滴, 並且經過輻射中和器 (radioactive neutralizer), 避免 droplet explosion, 如此可以產生非常狹窄分佈的奈米微粒, 最小可以到  $4 \text{ nm}$ , 圖 1-39 顯示,  $30 \text{ nm}$  聚苯乙烯球測試結果顯示較優異的分佈結果。並且設計主動式氣體混合模組, 如下圖 1-40 所示。產生穩定且可控制的濃度量。

### 30 nm: JSR STADEX SC-0030-A

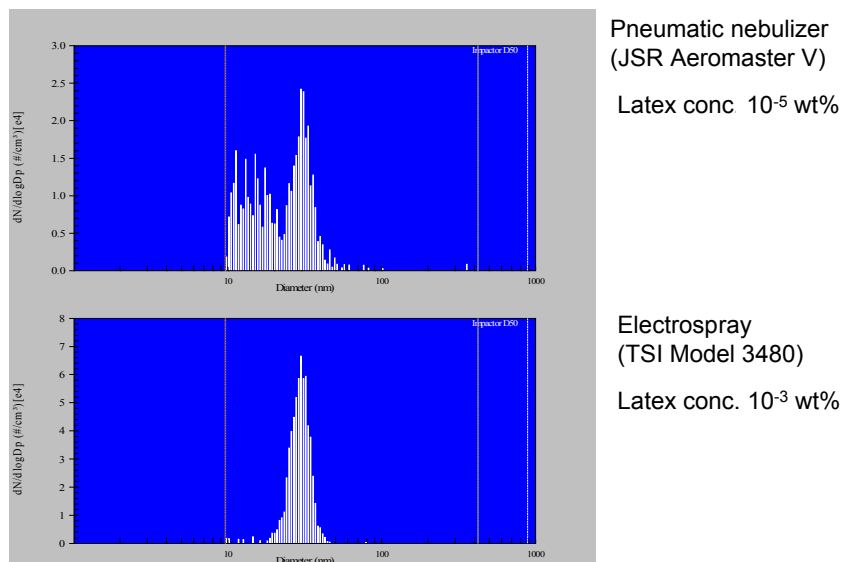


圖 1-39 以  $30 \text{ nm}$  聚苯乙烯測試物畫系統結果。上圖為 Aerosomaster 霧化粒子的分佈, 下圖為靜電噴霧系統, 明顯去除  $10 \text{ nm}$  左右的雜質。

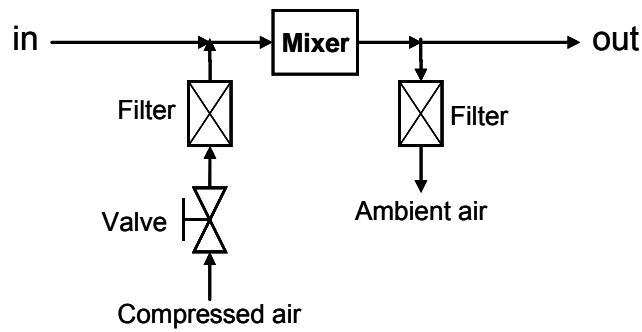


圖 1-40 氣體混合裝置

### (三) 奈米粒子參考物質研製技術(SiO<sub>2</sub>, Ag)。

蒐集目前國內外常用的商用的銀奈米粒子，由掃描式電子顯微鏡觀察形貌進行比較，如圖 1-41 所示。圖 1-41(a),(b)皆為本實驗所製造，分別是大倍率 100 K 及小倍率 40 K，圖 1-41(c)為 Nanocomposix 所製造，而圖 1-41(d)則是 BBIInternational 所製造，這些溶液都適用相同條件塗佈於矽基板上，並且進行量測，可以看出由 BBI 製造之銀粒子，過濾較差，在矽基板上有殘留溶劑，而且銀粒子的形狀較不規則，而 Nanocomposix 的粒子較小，直徑約 12 nm，是三種中最小的，且無殘留溶劑，但是卻大小不均勻分布，由圖 1-41(c)中可以看出，除了圓狀粒子之外，亦有不規則之銀粒子。因此，由圖上觀察，本計畫製做之粒子，雖不是最小的，但是其過濾以及形狀都較其他廠商好。

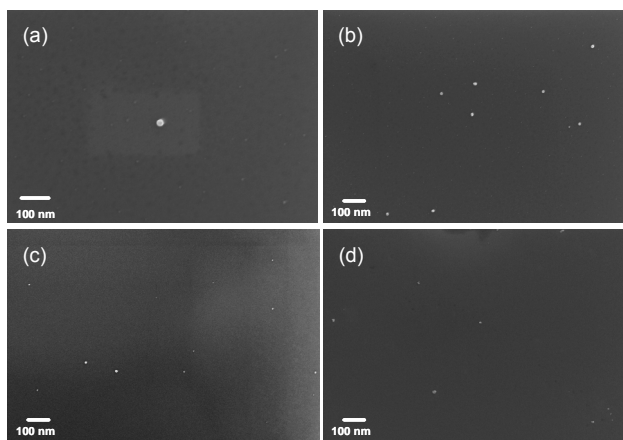


圖 1-41 銀奈米粒子形貌圖(a)大倍率自行合成(b)小倍率自行合成(c)Naocomposix 合成 (d)BBI 合成。

FY100 利用“綠色化學法”來製備出對環境無害的奈米粒子，突破早期傳統的化學合成法使用到有環境污染與毒害的化學藥品。利用綠色無毒的化學法來合成穩定的奈米粒子，後續將提供給國衛院等研究單位進行跨單位合作，進行相關毒性分析與生物性實驗等。

### (四) 奈米粒子/線功能性量測標準技術建立

FY100 年度成功的改善了靜電力之漂移與雜訊，主要關鍵為靜電力致動方法之改善。在改善前，致動電壓往往會因為漂移而導致飽和，使得長時間自動量測無法實現；此

外，由直流電壓致動所引發之相關充電效應、較長之反應時間以及受力平台力學特性受直流電壓大小影響等問題，也因導入交流致動電壓而獲得解決。根據 1 mg 法碼重力與 10  $\mu\text{N}$  靜電力平衡實驗結果，靜電力本身之不確定度已由先前之數十奈牛頓，下降至 10 奈牛頓之下。

## 【待改善之處】

### (一) 追溯型 FE-ESEM 系統評估與查驗。

對應於實際物體之間和量測值，有所謂的邊緣效應。這個效應會產生在邊緣，訊號顯現特別明亮的效果，進而產生實際尺寸無法定義的問題。因此以物理模型建置入射電子對待測材料之二次電子散射機制並以 Monte Carlo 法進行模擬。此法分為三個部分，第一、如何建置物理模型，哪些物理模型重要必須考慮；第二、將這些模型放入 Monte Carlo 中；第三、建置樣品形貌，並建立二次電子散射資料庫，最後再將實際量得的訊號與資料庫比對。以蒙地卡羅的方式模擬二次電子在一維光柵結構的散射行為，以高度、角度、寬度演算模擬資料庫做為量測值之比對。

### (二) 氣相粒子等效粒徑理論分析及線上量測系統建置與初期測試與研究。

本計畫以凝核計數器配合粒子霧化、稀釋、電荷中和、流量控制、以及 DMA 篩選等技術發展出凝核計數器校正技術。由於氣膠粒徑分布中，包括了一次粒徑與二次粒徑。二次粒徑可能為兩顆或三顆粒子的團聚，此部份會造成分布往右偏移(變大)，或者是帶二次電子，而這部份則會使分布往左偏移(變小)。因此，便須利用實驗與理論計算比較後，找出適當的修正公式，來得到更精確的計數效率。另外，計劃於 FY101 將進行流量計與電壓的不確定評估，以及上述提及的二次粒徑與不同帶電荷數所產生的不確定度等，並完成系統查驗工作。

### (三) 奈米粒子參考物質研製技術( $\text{SiO}_2$ , Ag)。

奈米銀粒子的合成基礎上，除了上述多元醇法與綠色製程等，計畫也進行了可變高頻微波 (VFM) 研究。比較這兩種加熱方法，後者的反應要快得多且均勻，可以更有效率的控制粒子成長品質，預期藉由溫度的調控，可以改善目前樣品分布較大、形狀不規則等問題。另外，搭配線上的分析系統，例如以流道取樣模組搭載動態光散射儀等，即時監控製程期間的變化，製作效率與品質控制將可大幅提升。奈米銀由於穩定度相較其他材料，如聚苯乙稀，相對較低。溫度的變化、溶劑化學性的變化以及本身的保存時間等，都面臨很大的考驗，也將是後續評估的工作重點。因此，FY101 將依據 ISO Guide 34 [1-12] 建立參考物質品質系統，實施與維持適當之品質系統，其包系統，規劃，量測程序，製造方法與存放管理，等必要內容建立文件，以確保 (assure) 其所生產之參考物質的品質。以下所列項目為品質系統中必須特別涵蓋納入的內容：

- a) 如何進行安排規劃，以確保對於候選參考物質 (candidate reference material) 作合適的選擇 (亦即粒子大小範圍，濃度範圍等等)

- b) 準備程序
- c) 達成參考物質均質性的要求程度
- d) 參考物質穩定度的評估；包含必要時即刻採取的穩定度評估作業
- e) 執行鑑定的程序
- f) 如何實現達國家或國際標準之量測追溯性
- g) 特性值的標稱；包含在適當的狀況下依照ISO Guide 31準備證明書與聲明書 (certificates and statements)
- h) 確保儲放設施之適用性的安排
- i) 適當之產品確認，標示及包裝設施，包裝及產品傳遞程序，及客戶服務的安排
- j) 與 ISO Guides 30, 31, 34, 35 的符合度

#### (四) 奈米粒子/線功能性量測標準技術建立

目前系統中所使用之電極仍為鋁製之表面粗研磨且未鍍膜之電極，容易有較大之表面電壓變化；電極數目之增加與配置也為未來改善之重點，利用多電極之配置以量測受力電極之位移與平行度，並降低待測力與靜電平衡力之間的餘弦與阿貝誤差。

#### 【後續工作構想及重點】

##### (一) 追溯型 FE-ESEM 系統評估與查驗。

綜合目前對量測的需求和方向，用模擬的方式決定邊界，雖然不失為一個相對“便宜”的方法，然而模擬所得的結果如何評估不確定性，或又準確度有多高是一個疑問。而且此法發展多年，所應用的物理模型多不勝數，且物理學家持續加入模型，不知何者才是最佳的模型，或是該增加的模型何時才能適時停止，也是個疑問。若是以實驗的方式決定線寬，無疑穿透式電子顯微鏡(TEM)可提供較高的解析度和準確性，然而 TEM 無法進行線上檢測又屬於破壞性的量測，目前不是業界的主要工具。目前國際上正在進行，製作不同參數的線寬、線高和角度的樣品，提供 TEM 和 SEM 互為比對的量測，實驗結果以 SEM 的圖形，搭配 TEM 獲得的值作為資料庫。

##### (二) 氣相粒子等效粒徑理論分析及線上量測系統建置與初期測試與研究。

本計畫於 FY100 進行奈米粒子濃度量測系統設計與奈米粒技術理論分析，建立粒子濃度量測系統，將進行流量計與電壓的不確定評估，以及二次粒徑與不同帶電荷數所產生的不確定度等，於 FY101 完成奈米粒子濃度量測系統評估與系統查驗工作。

##### (三) 奈米粒子參考物質研製技術(SiO<sub>2</sub>, Ag)。

根據 OECD((Organisation for Economic Co-operation and Development))與 ISO 的規定，參考物質使用，應確保其數值可以追溯到由國家量測標準機構所維持的基本量測單位。然而國內目前仍缺乏參考物質可以直接追溯到 NML，國內產業界或研究機構所使用之標準粒子絕大多數皆從國外廠商直接購買，並且也缺少驗證參考物質的管理系

統。有鑑於此，NML 將建立絕對式的粒子校正系統，建立完整的追溯體系，連結到驗證單位、學術機構以及產業界等。就長遠的發展來看，隨著奈米粒子的應用以及產品快速成長下，對於奈米標準粒子的需求及量測，將扮演產品驗證重要的關鍵角色，研發標準粒子將是目前國內奈米產業發展過中，重要的任務之一。NML 肩負著維持國家最高的原級度量衡標準，及奈米粒子大量使用於傳產、生醫及能源，故驗證參考物質的開發亦相形重要，FY100 已製作一批奈米銀溶液，後續將遵循 ISO Guide 34，期許 NML 能成為驗證參考物質的提供者。目前合成之二氧化矽奈米粒子平均粒徑約 25 nm，在合成時加入分散劑如 SDS 或 SMA(Styrene Maleic Anhydride)等，使合成之奈米粒子粒徑更均一，減少團聚現象。另外，生產過程所需之物品、材料及貯存狀況均需依 ISO Guide 34[1-12]進行製程評估及驗證，檢視其穩定度、有效期分析與純度分析等。

#### (四)奈米粒子/線功能性量測標準技術建立

改良系統整體架構與提升力量量測之解析度。相關工作項目為(a)電容極板之配置：使用五組電容極板，可偵測懸吊之中間電極在五個自由度之運動。為了降低靜電力與鉛錘方向施力之間的餘角誤差及阿貝誤差所引起之靜電力補償不確定度，中間電極必須儘可能的調整為水平，額外配置之電極，可用來偵測中間電極之水平狀態(兩個角度之位移訊號)，並做為中間電極水平調整之參考依據。(b)測力之鈹銅撓性結構：降低測力方向之剛性，提升測力解析度及靈敏度。(c)降低電路雜訊：改良電容式位移偵測電路，在電感電橋兩側加入高穩定度之玻璃可變電容，以補償導線中之電容差異。使用低雜訊之高壓放大器，作為靜電力驅動之電壓源，降低電容施力之電壓起伏雜訊。(d)降低電容極板之間之補丁效應：所有導電之部份包含撓性結構、電極板與極板之接地外罩(Grounding guard)將鍍以金，降低極板中不同區域與極板間之表面電位差，藉以降低因表面電位不同的漂移效應。

## 二、薄膜結構與特性量測標準追溯分項計畫

### 【年度目標】

#### (一) 薄膜結構參數量測標準及參考物質量測技術建立：

單一線寬之 Cross Section LWR/LER 量測技術研究。

50 nm 線寬量測系統建置 - 量測方程式及主要不確定度源。

#### (二) 薄膜表面特徵量測標準技術建立：

晶圓表面散射光量測系統分析(系統查驗)。

晶圓表面 30 nm ~ 60 nm 微粒分佈量測研究。

#### (三) 奈米薄膜機電特性與化學性質量測標準技術建立：

薄膜拉伸量測技術(Thickness  $\leq$  500 nm)。

### 【本年度成果】

#### (一) 薄膜結構參數量測標準及參數量測標準及參考物質量測技術建立

本年度已經建立 LER/LWR(Cross-Section)量測技術，並進行量測方程式、主要不確定度源與最佳量測能力分析，其最佳量測能力為 2.54 nm ( $k = 2.57$ ,  $W = 50$  nm, 待測件均一性之一倍標準差為 0.96 nm)。

#### (二) 薄膜表面特徵量測標準技術建立

本年度完成晶圓表面奈米微粒粒徑量測系統已通過系統查驗並正式對外提供服務。校正項目為晶圓表面奈米微粒粒徑(聚苯乙烯, PSL)、量測範圍為 100 nm 至 300 nm、最佳校正能力於 95%的信賴水準，涵蓋因子  $k$  為 1.99 之下，在 100 nm 至 200 nm 的範圍中，擴充不確定度為 8.1 nm；在 200 nm 至 300 nm 的範圍中，擴充不確定度為 19 nm。本年度亦對於晶圓表面奈米微粒之分佈量測進行了可行性的研究。

本年度完成晶圓表面奈米微粒之分佈量測系統測試、蒐集整理相關文獻與規範、設計製作高效率奈米粒子沉降系統，並完成系統測試，可將原本將近一個月之 20 nm 粒子沉降時間大幅縮短為數天至一星期。

#### (三) 奈米薄膜機電特性與化學性質量測標準技術建立

薄膜機械：

本年度計畫主要為利用奈米拉伸與奈米壓痕量測系統進行薄膜附著力等相關機械性質量測研究。在奈米拉伸系統上設計三段式夾具用以量測薄膜正向附著力；亦設計夾具解決黏絲材料的黏附力量測並進行技術授權，可控制力量範圍為 0 mN 到 500 mN，擴充了系統的功能與應用性。而在奈米壓痕量測系統上則利用側向力模組進行薄膜的刮痕試驗，力量控制範圍為 1 mN 到 9 mN，可進行膜厚 100 nm 到 400 nm 的金屬薄膜刮痕試驗，獲得薄膜於基材上的臨界載重，並配合電子顯微鏡的影像用以判斷薄膜於基材上的剝離與脫層行為(Delamination)。

## 【技術創新】

### (一)薄膜結構參數量測標準及參數量測標準及參考物質量測技術建立

隨著半導體工業的發展，關鍵尺寸(Critical dimension, CD)因而半導體結構關鍵外形(Critical shape)越來越重要，一般把半導體製造的關鍵外形分為四部分：Top CD、Bottom CD、Height 與 Side-wall angle(SWA)四個半導體製造關鍵外形參數(如圖 2-1)，我們稱為關鍵尺寸；值得注意的是隨著半導體製程線寬的縮小，這些微小的幾何參數都會影響到產品的品質，未來為了更準確量測關鍵外形，我們必須發展這些件尺寸的量測技術，以幫助半導體與奈米科技產業，增進其產品的品質。除了上述提及之 CD 參數外，半導體業對於 LER (Line edge roughness)或 LWR (Line width roughness) 的控制，重要性尤其日漸顯著。許多研究測試顯示，在逐漸縮小的線寬，LER 所造成的問題將大大影響到製程中原本的關鍵尺寸(CD)所具備的容許誤差，進而惡化元件並表現造成良率問題；LER 可以定義為在半導體製程線寬上，由於線寬邊緣 (line edge) 的不均勻性(如圖 2-2)，相對於直線邊緣的偏差，一般以偏差的三倍標準差 (3 $\sigma$ ) 作為衡量標準。

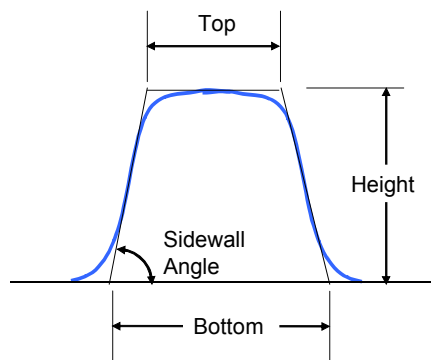


圖 2-1 關鍵外形量測模型的各项參數示意圖

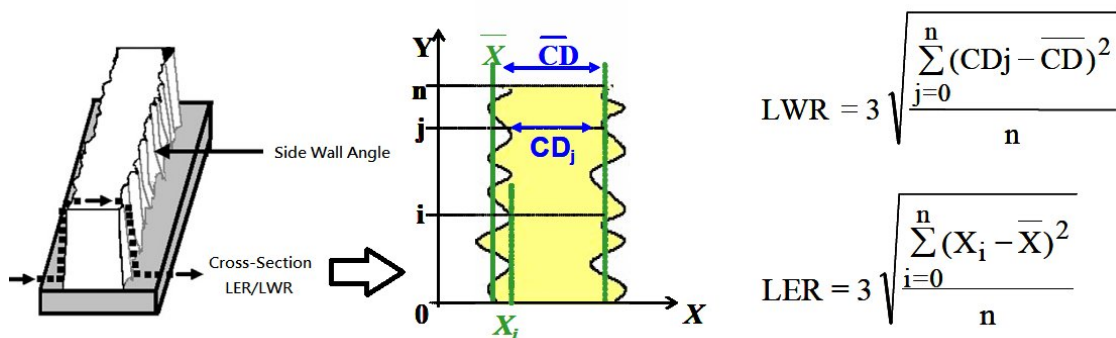


圖 2-2 LER/LWR 參數示意圖

一般而言，在量測奈米級表面特徵尺寸主要之量測設備為電子掃描顯微鏡(SEM)、穿透式電子顯微鏡 (TEM)、原子力顯微鏡(AFM)等儀器，這些儀器可量測數十微米至幾



個奈米等級表面特徵，解析度都可達 0.1 nm，但使用 TEM 時，TEM 試片製作依照傳統方法，經切割、研磨、研磨(Dimpler)、離子薄化、鍍碳等過程，準備工作是相當費時費工，且是屬於破壞性檢測，掃描式電子顯微鏡(CD- Scanning electron microscopy, CD-SEM)尚可量測 CD，但受制於 SEM 使用高壓、高速電子，其量測過程會衝擊待測物而造成損壞及高溫燒毀，或者造成光阻性質改變，且只能量測到 2D，對於 LER/LWR(cross-Section)無法進行檢測。另外發展以光學散射量測 CD 技術，但只適用於週期性光柵之線寬量測，無法量測單一線寬，有鑑於此，各國研究單位也積極投入研究的領域。美國 Soluris 公司將 CD-SEM 整合於線上積體電路之關鍵尺寸檢測，因其快速檢測優點，可進行對 LER/LWR(cross-Section)檢測，唯需將試片另進行 cross section 切割動作[2-1]，才能使用 CD-SEM 進行量測。法國研究學者 Foucher 利用 Model X3D from Veeco Instruments 檢測蝕刻後形狀，來決定適用之蝕刻參數[2-2]。美國 SEMATECH 與 NIST 研究學者群在試片傾斜下使用 CD-SEM 進行檢測，透過不同的聚焦距離，可以在 top-view 影像直接量測 LER/LWR(cross-Section)，而不需將試片剖面 [2-3]。另外也有文獻提出使用 CD-SEM 取 Top-Down 影像，藉由電子束撞擊在邊緣之電子訊號強度匯整成一資料庫，之後取量測到之訊號比對資料庫，可得到相近之邊緣形狀[2-4, 2-5]。但 X3D 機台與探針試片成本過高，而傾斜式 SEM 取像所得之輪廓形狀只是近似值，而非直接取得高度資訊。

有鑒於此，本研究進行一種使用原子力顯微鏡 (AFM) 測量 LWR(cross-section)技術，主要用以檢查奈米元件垂直面之邊緣製作狀況。本技術應用原子力顯微鏡，搭配超細探針(Supper sharp tip)透過試片傾斜一個角度，並結合 AFM 的量測模式，將奈米元件之形貌掃描出來，但受限於傾斜時，探針形貌會與測試件之某一面產生干涉，所以需將試片旋轉 180 度後，再進行兩次，再透過疊合技術，將兩次量測結果之圖像重疊，得到試片奈米結構外形，再以軟體進行量測分析 LER/LWR。為了驗證這種方法，本研究進行參考樣本的量測，除了探討其量測技術外，並估算其量測的擴充不確定度。量測系統包括：一台 AFM 的主體(Type: DI 3100)、一台 AFM 的控制器(DI 3100 Controler)、一台精密壓電位移裝置(Peizo)控制器(Type: NanoScope IIIa)，量測系統示意圖如圖 2-3 所示。

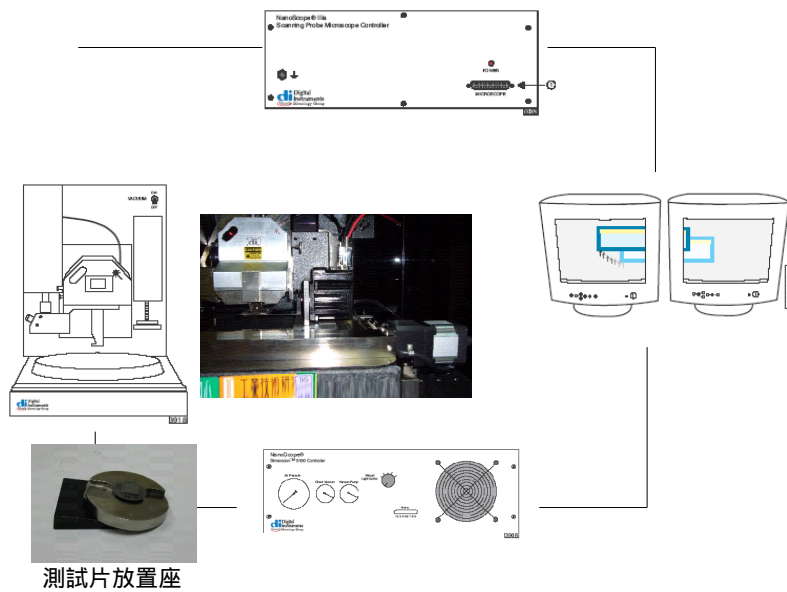


圖 2-3 側壁傾斜角的量測系統(DI 原子力顯微鏡)

## (二)薄膜表面特徵量測標準技術建立

### 晶圓表面散射光量測系統分析（系統查驗）

於半導體與平面顯示器等強調產品表面潔淨度的產業，晶圓表面上奈米粒子與缺陷的檢測分析是非常重要的品質參數。而光散射量測技術就是一個強而有力的技術，可以用來偵測產品表面上的特徵[2-6~8]。這些以光散射量測技術為主的量測儀器，滿足了精密製程產業對於高生產率、高靈敏度等的檢測儀器性能需求。然而，當光線入射例如粒子污染物、表面形貌粗糙度、加工後表面殘餘物和表面缺陷等表面特徵時，均會造成散射光的產生。因此，有效的分析散射光強度，並藉以精確的分辨晶圓表面上奈米粒子的尺寸、形狀和材質，是非常困難和複雜的。

近年來，許多文獻提出了物體表面光散射的理論計算和實驗[2-9~14]，並指出光偏振參數可以用來分析和辨別不同表面缺陷所發出平面外散射光。Germer 等人[2-15~18]以理論分析和實驗量測，證明表面上物體所造成散射光的偏振特性，可以用以區分不同的物體特徵。也就是說利用不同散射源特有的偏振特性，可分辨附著在晶圓上的是奈米粒子或是表面缺陷，進而提高光學檢測儀器的檢測能力。因此，如何快速的檢測奈米粒子的粒徑，卻又不被其他物體的散射光影響是相當重要的課題。例如，使用散射光的角度相依性或平面外散射光偏振特性分析等，來減低或過濾晶圓表面粗糙度所引起的散射光，以提高偵測奈米粒子的準確性等。

本年度評估自行設計的多角度光散射儀量測晶圓表面上不同粒徑大小奈米粒子時的不確定度。偏振散射光分析法與量測步驟所可能造成之誤差源在分析過程均納入考慮。

許多文獻中[2-8~20]，已經發展並探討了單顆粒子的散射光理論。圖 2-4 為試件座標系統圖，用以定義散射光場中的各個角度。其中， $a$  為奈米粒子的半徑、 $n_{\text{sph}}$  為折射率、 $d$  為粒子與晶圓表面間的距離、 $t$  為晶圓表面薄膜厚度、其折射率為  $n_{\text{SiO}_2}$ 、 $n_{\text{Si}}$  為晶圓的折射率。波長為  $\lambda$  的線偏振光以  $\theta_i$  角入射晶圓表面與奈米粒子上，而產生極角  $\theta_r$ 、方位角  $\phi_r$  的偏振散射光。此偏振散射光場可以由入射光與散射光場之間的關係來決定。利用 Jones 散射矩陣  $S$  可以下式(1)表示[2-21]：

$$\begin{pmatrix} E_p^{scat} \\ E_s^{scat} \end{pmatrix} = \frac{\exp(ikR)}{R} \begin{pmatrix} S_{pp} & S_{sp} \\ S_{ps} & S_{ss} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} E_p^{inc} \\ E_s^{inc} \end{pmatrix} \quad (1)$$

其中  $R$  為散射光源到光偵測器的距離、 $k = 2\pi/\lambda$ 。

由方程式(1)可看出，如何求得矩陣  $S$  是散射理論分析的重點。當奈米粒子附著於晶圓表面的時後，它可能發出兩種散射光，一是粒子的直接散射光，二則是晶圓表面上粒子的鏡像所產生散射光。因此兩道散射光就會有相位差的產生，可以  $\alpha$  和  $\beta$  表示之。由米氏表面交互影響模型(Mie-surface double-interaction model, MSDI)即可計算出奈米粒子所產生的散射光與角度相依性，並可以 Stokes 向量函數  $\Phi_j$  ( $j = 0, 1, 2, 3$ ) 來表示之。若要快速表示散射光的偏振狀態，利用橢圓偏振主軸角度  $\eta$  與其相對應的線偏振度  $PL$  是最為有效的方式。橢圓偏振主軸角度  $\eta$  定義為當入射光為  $p$  偏振時，橢圓偏振散射光的主軸和  $\hat{s}$  軸的夾角，如下式(2)所示：

$$\eta = \tan^{-1}(\Phi_1, \Phi_2) / 2 \quad (2)$$

而線偏振程度  $PL$  亦可以式(3)表示：

$$P_L = \sqrt{\Phi_1^2 + \Phi_2^2} / \Phi_0 \quad (3)$$

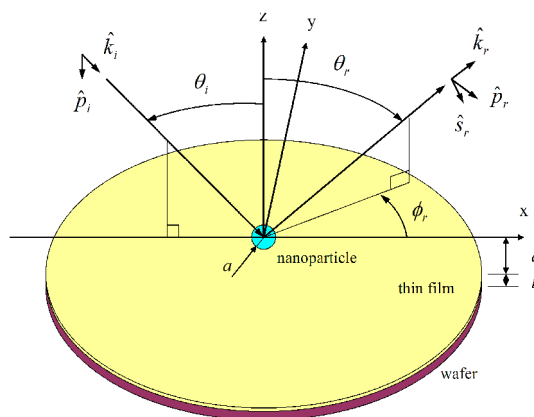


圖 2-4 試件座標系統圖

這些參數可完全的表達出散射光強度與其偏振特性。當  $PL = 1$  時，散射光是完全線偏振；當  $PL = 0$  時，散射光是無偏振或圓偏振狀態。當我們利用橢圓偏振主軸角度  $\eta$  來判斷散射光的偏振狀態，量測時就不容易受到外界環境雜散光的影響，而可以得到最

精準的量測數據。本研究中使用米氏理論進行數學推導，所有的理論計算均假設當入射光波長為 532 nm 時  $n_{\text{sph}} = 1.59$  (PSL) 且  $n_{\text{si}} = 4.05 + 0.05i$ ，並假設奈米粒子的材料是均質的，且忽略粒子與粒子間的交互作用。

圖 2-5 為偏振散射光分析法量測系統架構。此量測系統採用波長為 532 nm 的 Nd:YAG 綠光雷射。雷射光首先通過起偏器以獲得高消光比之線偏振光，並以  $\theta_i$  之入射角、平行入射面之  $p$  偏振態入射試件晶圓表面。再於極角  $\theta_r$  和方位角  $\phi_r$  之方向偵測散射光的偏振特性。入射光的偏振特性由一個固定的起偏器(線偏振片)和一個可旋轉的二分之一波長板來控制線偏振光偏振方向，以達到以平行入射面之  $p$  偏振態入射試件晶圓表面的目的。散射光的偏振特性則由另一組檢偏器(線偏振片)和二分之一波長板來進行 Mueller 矩陣的分析。Mueller 矩陣分析採用  $\times 4$  方法[2-9]，意即當入射光部分的二分之一波長板旋轉某一角度時，散射光部分的二分之一波長板則轉 4 倍於入射光部分的角度，因此每次光訊號量測，二分之一波長板需改變 16 次不同角度，再將此訊號做傅立葉轉換(Fourier transform)，即可完成一個  $3 \times 3$  的 Mueller 矩陣量測與計算。之後，再由 Mueller 矩陣中的元素計算出橢圓偏振主軸角度。量測時是隨著散射光方位角  $\phi_r$  的變化來進行，由  $\phi_r = 0^\circ$  開始量至  $\phi_r = 180^\circ$ 。如此一來，可以量測到橢圓偏振主軸角度  $\eta$  隨著不同方位角  $\phi_r$  的變化情形，由這個變化情況即可分辨出粒徑大小。

為了了解量測結果之離散程度，參考國際標準組織(ISO)發行的 ISO/IEC Guide 98-3:2008 [2-22]分析各誤差源及標準不確定度，並計算擴充不確定度。

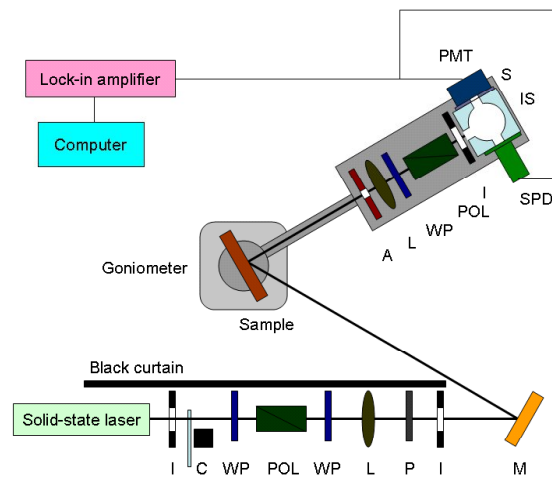


圖 2-5 多角度調整光散射儀示意圖

晶圓表面奈米粒徑之校正係以多方位散射光量測系統，直接量測標準試片之散射光的雙向反射分佈函數(Bidirectional Reflectance Distribution Function, BRDF)，經由 Mueller 矩陣的計算來歸納出散射光偏振狀態與粒徑大小的關係。於量測的結果與理論分析可以得知，粒徑大小與橢圓偏振主軸角度  $\eta$  的斜率大小呈比例關係，在此定義晶圓表面奈米粒徑之量測方程式如下：

$$D_c = D_{s1} + \frac{(S_x - S_{s1})}{(S_{s2} - S_{s1})} \times (D_{s2} - D_{s1}) + E_1 \quad (4)$$

其中,  $D_c$  為待校件之晶圓表面奈米粒徑, nm;  $D_{s1}$  為標準件(100 nm)之粒徑校正值, nm;  $D_{s2}$  為標準件(200 nm)之粒徑校正值, nm;  $S_x$  為待校件之橢圓參數  $\eta$  和散射光方位角  $\phi_r$  變化曲線之斜率量測值;  $S_{s1}$  為標準件(100 nm)之橢圓參數  $\eta$  和散射光方位角  $\phi_r$  變化曲線之斜率量測值;  $S_{s2}$  為標準件(200 nm)之橢圓參數  $\eta$  和散射光方位角  $\phi_r$  變化曲線之斜率量測值;  $E_1$  為以斜率量測值轉換粒徑大小時的偏差值。

由國際標準組織發行的「量測不確定度表示方式指引(ISO GUM)」所述之量測不確定度估算步驟, 可得待校件之晶圓表面奈米粒徑值之組合標準不確定度如式(5)所示。

$$u_c(D_c) = \left[ \left( \frac{\partial f}{\partial D_{s1}} \right)^2 u^2(D_{s1}) + \left( \frac{\partial f}{\partial D_{s2}} \right)^2 u^2(D_{s2}) + \left( \frac{\partial f}{\partial S_{s1}} \right)^2 u^2(S_{s1}) + \left( \frac{\partial f}{\partial S_{s2}} \right)^2 u^2(S_{s2}) + \left( \frac{\partial f}{\partial S_x} \right)^2 u^2(S_x) + \left( \frac{\partial f}{\partial E_1} \right)^2 u^2(E_1) \right]^{\frac{1}{2}} \quad (5)$$

為簡化方程式, 定義:

$$S_R = \frac{(S_x - S_{s1})}{(S_{s2} - S_{s1})}, \quad D_R = \frac{(D_{s2} - D_{s1})}{(S_{s2} - S_{s1})}$$

則, 量測結果之組合標準不確定度式(5)可以表示如式(6)所示:

$$u_c(D_c) = \left[ (1 - S_R)^2 \cdot u^2(D_{s1}) + S_R^2 \cdot u^2(D_{s2}) + (- (1 - S_R) \cdot D_R)^2 \cdot u^2(S_{s1}) + (- S_R \cdot D_R)^2 \cdot u^2(S_{s2}) + D_R^2 \cdot u^2(S_x) + 1 \cdot u^2(E_1) \right]^{\frac{1}{2}} \quad (6)$$

組合標準不確定度式(6)中, 各不確定度源分析如下。

標準件 1 (100 nm) 傳遞之標準不確定度  $u(D_{s1})$ : 此項可由聚苯乙烯球之校正報告得其標準不確定度值, 屬 B 類(B-type)之評估方式。此標準片經 NML 校正後, 其粒徑量測值 ( $D_{s1}$ ) 為 101.0 nm, 不確定度分量  $u(D_{s1})$  為 1.014 nm。

標準件 2 (200 nm) 傳遞之標準不確定度  $u(D_{s2})$ : 同前述的標準件 1 (100 nm) 傳遞之標準不確定度。此標準片經 NML 校正後, 其粒徑量測值 ( $D_{s2}$ ) 為 200.4 nm, 不確定度分量  $u(D_{s2})$  為 1.014 nm。

標準件 1 (100 nm) 斜率值量測之標準不確定度  $u(S_{s1})$ : 斜率值是經由改變不同散射光方位角, 而得到其對應之橢圓偏振主軸角度, 之後再計算而得到的數值。此誤差源可細分為(a) 於相同條件下重複讀取橢圓偏振主軸角度的重複性誤差, 與(b) 多次重複調整

機台角度之散射光方位角誤差。經實驗評估，重複性誤差的標準不確定度為 0.006813，散射光方位角誤差的標準不確定度為 0.010918。合併前述二項誤差源，可得此斜率值量測之標準不確定度  $u(S_{s1})$  為 0.012869。

標準件 2 (200 nm)斜率值量測之標準不確定度  $u(S_{s2})$ ：同前述的標準件 1 (100 nm)斜率值量測之標準不確定度推估。經實驗評估，重複性誤差的標準不確定度為 0.005820，散射光方位角誤差的標準不確定度為 0.003060。合併前述二項誤差源，可得此斜率值量測之標準不確定度  $u(S_{s2})$  為 0.006575。

待校件斜率值量測之標準不確定度  $u(S_x)$ ：待校件橢圓參數斜率值量測之標準不確定度可依前述之標準件橢圓參數斜率值量測之標準不確定度推估。經實驗評估，重複性誤差的標準不確定度為 0.006813，散射光方位角誤差的標準不確定度為 0.010918。合併前述二項誤差源，可得此斜率值量測之標準不確定度  $u(S_x)$  為 0.012869。

斜率量測值轉換粒徑值之標準不確定度  $u(E_1)$ ：校正時是將量測而得的待校件橢圓參數斜率值與標準件橢圓參數斜率值進行線性內插運算而得到待校件之粒徑值。由理論公式可以推估得到其線性偏差值。線性偏差值之平均值為 -0.18 nm，標準差為 1.30 nm。標準不確定度  $u(E_1)$  為 1.30 nm。

由上述各不確定度源分析與式(6)可求得粒徑值落於 100 nm 至 200 nm 區間中之待測粒子的組合標準不確定度，如表 2-1 所示。其有效自由度為 82、對應之涵蓋因子為 1.99，採用 95 %的信賴水準，可得其擴充不確定度為 8.1 nm。

同樣的，針對粒徑值落於 200 nm 至 300 nm 區間中之待測粒子，參考上述 100 nm 至 200 nm 區間之評估步驟，評估各項不確定度源之標準不確定度，而得到此待測粒子之組合標準不確定度，如表 2-2 所示。其有效自由度為 79、對應之涵蓋因子為 1.99，採用 95 %的信賴水準，可得其擴充不確定度為 19 nm。

表 2-1 100 nm  $D < 200$  nm 不確定度分析表

不確定度源 $X_i$	標準不確定度 $u(x_i)$	靈敏係數 $c_i$	不確定度分量 $u_i(D_c) =  c_i u(x_i)$	自由度 $\nu_i$
標準件 1(100 nm)傳遞 $D_{s1}$	1.014 nm	1- $S_R$	1.014×(1- $S_R$ ) nm	50
標準件 2(200 nm)傳遞 $D_{s2}$	1.014 nm	$S_R$	1.014× $S_R$ nm	50
標準件 1(100 nm)斜率值 $S_{s1}$	0.012869	-(1- $S_R$ )× $D_R$ nm	0.012869×(1- $S_R$ )× $D_R$ nm	21.0
重複性誤差 $S_{s11}$	0.006813			12.5
方位角誤差 $S_{s12}$	0.010918			12.5
標準件 2(200 nm)斜率值 $S_{s2}$	0.006575	$-S_R$ × $D_R$ nm	0.006575× $S_R$ × $D_R$ nm	18.9
重複性誤差 $S_{s21}$	0.005820			12.5
方位角誤差 $S_{s22}$	0.003060			12.5
待校件斜率值 $S_x$	0.012869	$D_R$ nm	0.012869× $D_R$ nm	83.8
重複性誤差 $S_{x1}$	0.006813			50
方位角誤差 $S_{x2}$	0.010918			50
斜率轉換粒徑值 $E_1$	1.30 nm	1	1.30 nm	20
組合標準不確定度	$\sqrt{(3.559 \times (1 - S_R))^2 + (2.016 \times S_R)^2 + 3.65^2}$			
有效自由度 $\nu_{eff}$	82			
涵蓋因子 $k$	1.99			
擴充不確定度	8.1 nm			

$$\text{其中, } S_R = \frac{(S_x - S_{s1})}{(S_{s2} - S_{s1})}, D_R = \frac{(D_{s2} - D_{s1})}{(S_{s2} - S_{s1})}$$

表 2-2 200 nm D < 300 nm 不確定度分析表

不確定度源 $X_i$	標準不確定度 $u(x_i)$	靈敏係數 $c_i$	不確定度分量 $u_i(D_c) =  C_i u(x_i)$	自由度 $\nu_i$
標準件 2(200 nm)傳遞 $D_{s2}$	1.014 nm	1- $S_R$	1.014×(1- $S_R$ ) nm	50
標準件 3(300 nm)傳遞 $D_{s3}$	1.932 nm	$S_R$	1.932× $S_R$ nm	50
標準件 2(200 nm)斜率值 $S_{s2}$	0.006575	-(1- $S_R$ )× $D_R$ nm	0.006575×(1- $S_R$ )× $D_R$ nm	18.9
重複性誤差 $S_{s21}$	0.005820			12.5
方位角誤差 $S_{s22}$	0.003060			12.5
標準件 3(300 nm)斜率值 $S_{s3}$	0.019921	$S_R$ × $D_R$ nm	0.019921× $S_R$ × $D_R$ nm	17.6
重複性誤差 $S_{s31}$	0.008334			12.5
方位角誤差 $S_{s32}$	0.018094			12.5
待校件斜率值 $S_x$	0.019921	$D_R$ nm	0.019921× $D_R$ nm	70.3
重複性誤差 $S_{x1}$	0.008334			50
方位角誤差 $S_{x2}$	0.018094			50
斜率轉換粒徑值 $E_2$	5.23 nm	1	5.23 nm	20
<b>組合標準不確定度</b>		$\sqrt{(2.650 \times (1 - S_R))^2 + (7.666 \times S_R)^2 + 9.08^2}$		
<b>有效自由度 <math>\nu_{eff}</math></b>		<b>79</b>		
<b>涵蓋因子 <math>k</math></b>		<b>1.99</b>		
<b>擴充不確定度</b>		<b>19 nm</b>		

$$\text{其中, } S_R = \frac{(S_x - S_{s2})}{(S_{s3} - S_{s2})}, D_R = \frac{(D_{s3} - D_{s2})}{(S_{s3} - S_{s2})}$$

### 晶圓表面 30 ~ 60 nm 微粒分佈量測研究

晶圓表面奈米微粒佈植系統之主要架構如圖 2-6 所示，包括靜電式微粒霧化器 (Electrospray Aerosol Generator, TSI 3480)、電荷中和器 (Charge Neutralizer, TSI 3077)、電遷移率分析儀 (TSI 3081)、控制器 (Controller Platform, TSI 3080)、佈植腔、以及凝核計數器 (Condensation Particle Counter, TSI 3776) 等。其中，霧化器乃是藉由電場與流場的控制，將奈米微粒抽離毛細管並使其懸浮於氣體中；電荷中和器主要用以藉其所產生之電荷使奈米微粒的帶電狀態成為近似波茲曼 (Boltzmann) 平衡分佈；凝核計數器則是做為定量方法的測試設備，其基本原理是當微粒連續經過時，將原本較小而不易計數之奈米微粒，以飽和酒精蒸氣包圍凝結成較大之可計數微粒，當此凝核微粒通過光學感測器時會產生脈衝信號，經由計算產生之脈衝信號即可測得微粒的數量。

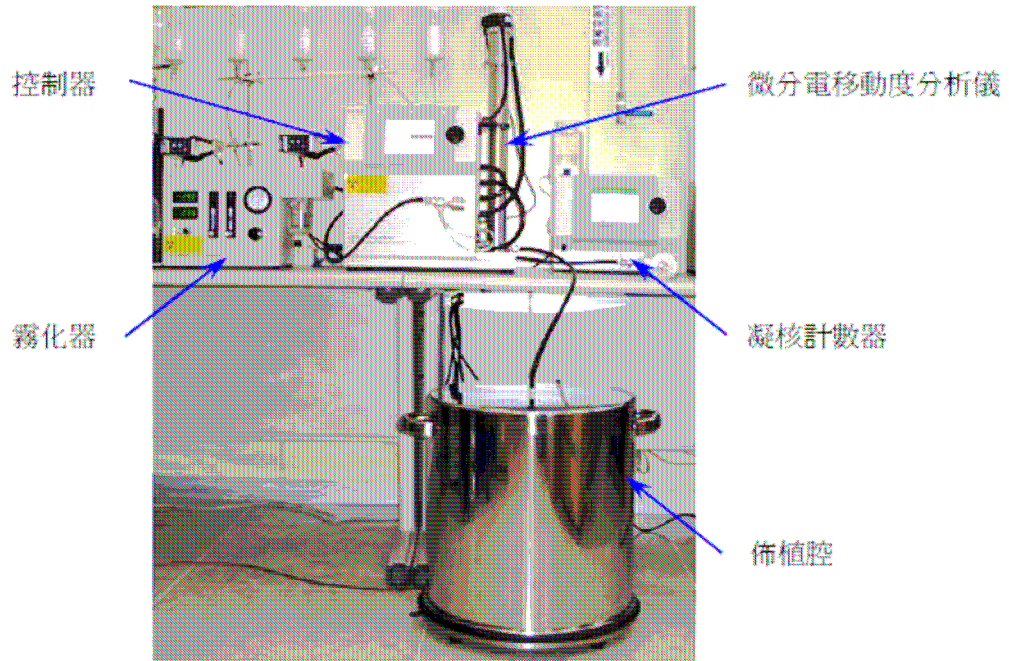


圖 2-6 晶圓表面奈米微粒佈植系統

如圖 2-7 所示，若將一帶有負電荷之圓球形奈米微粒置於一流體中的電場內，則將會有四種外力作用在此奈米微粒上，使奈米微粒與流體間產生相對運動，此四力分別為庫侖力( $F_E$ )、重力( $F_G$ )、浮力( $F_B$ )、以及拖曳力( $F_D$ )。

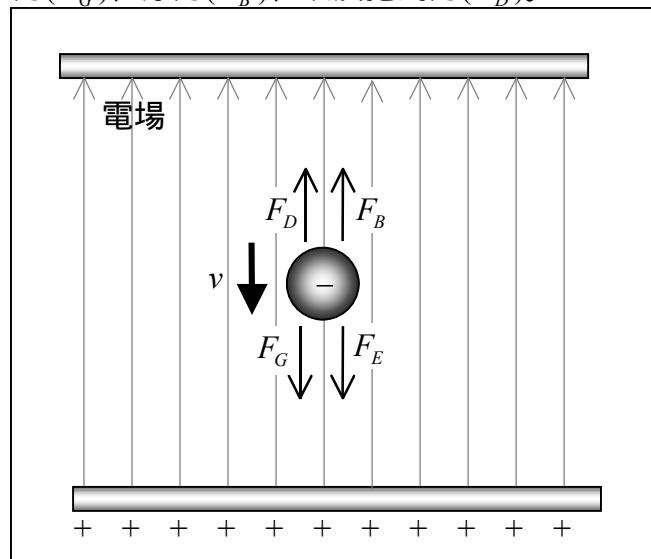


圖 2-7 置於電場內之奈米微粒

作用於此奈米微粒之庫侖力  $F_E$  與電場強度  $E$  以及此奈米微粒的帶電量  $q$  有關，亦即：

$$F_E = q \cdot E \quad (7)$$

其中，奈米微粒的帶電量  $q$ ，可以基本電荷(Elementary charges)  $e$  與所帶的基本電荷數  $n$  表示：



$$q = n \cdot e \quad (8)$$

其中， $e = 1.602 \times 10^{-19} \text{ C}$ 。

若此奈米微粒的粒徑為  $d_p$ 、密度為  $\rho_p$  且流體的密度為  $\rho_F$ ，則此奈米微粒所受的重力  $F_G$  與浮力  $F_B$  分別可以式(3)與式(4)表示：

$$F_G = \frac{\pi \cdot d_p^3 \cdot \rho_p \cdot g}{6} \quad (9)$$

$$F_B = \frac{\pi \cdot d_p^3 \cdot \rho_F \cdot g}{6} \quad (10)$$

其中， $g$  為重力加速度值。

當奈米微粒與流體產生相對運動時，此時奈米微粒周遭的流體流速乃產生速度梯度，奈米微粒也因此受到來自於流體的阻力影響，此阻力即為拖曳力。當奈米微粒的雷諾數(Reynolds number)很小 ( $Re < 1$ ) 時，此阻力可根據史托克定律(Stokes's law)[2-23]表示：

$$F_D = 3\pi \cdot \eta \cdot v \cdot d_p \quad (11)$$

其中， $\eta$  為流體的黏滯係數， $v$  則為奈米微粒與流體的相對速度。若奈米微粒的雷諾數大於 1 時，則奈米微粒所受的拖曳力可以式(12)表示：

$$F_D = \frac{3\pi \cdot \eta \cdot v \cdot d_p}{C_C} \quad (12)$$

其中， $C_C$  為滑溜修正係數(Slip correction factor)。

在未加電場的情況下，假設奈米微粒所受的庫倫力為零，那麼奈米微粒所受的外力分別為拖曳力、重力、以及浮力，亦即：

$$F_D + F_B = F_G \quad (13)$$

同時在奈米微粒密度  $\rho_p$ 、流體密度  $\rho_F$ 、以及重力加速度值  $g$ 、奈米微粒粒徑  $d_p$ 、滑溜修正係數  $C_C$  皆為已知的情況下，由式(3)、式(4)、以及式(6)即可求出奈米微粒之終端速度為：

$$v = \frac{(\rho_p - \rho_f) \cdot g \cdot C_c \cdot d_p^2}{18\eta} \quad (14)$$

當已知佈植腔內奈米微粒入口與欲佈植之晶圓間的距離，即可算出佈植奈米微粒所需時間。

如圖 2-6 所示，為了使奈米微粒均勻佈植於 12 吋晶圓表面，幾年前我們設計了一個大型的佈植腔，奈米微粒入口與欲佈植之晶圓間的距離達 40 cm 之遠。這樣的距離雖然使得奈米粒子可以均勻的沉降在 12 吋晶圓表面，但是動輒數十天的沉降等待期，使得佈植 20 nm 粒子變得曠日費時。因此，本計畫今年重新設計製作一高效率之奈米粒子沉降系統，如圖 2-8 所示，並完成系統測試，可將原本將近一個月之 20 nm 粒子沉降時間大幅縮短為一星期二天。除了拉近佈植腔內奈米微粒入口與欲佈植之晶圓間的距離以縮短沉降時間之外，更設計了高絕緣的電極供外加電場以加速奈米微粒的沉降。

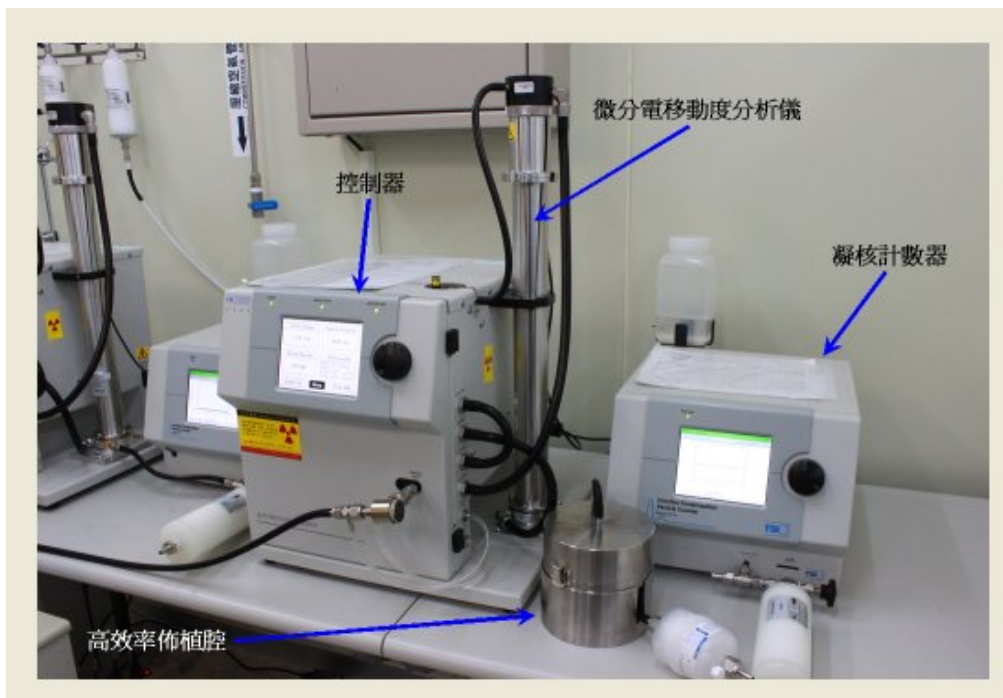


圖 2-8 高效率之奈米粒子沉降系統

在外加電場的情況下，假設奈米微粒所受的庫倫力向下，那麼奈米微粒所受的外力分別為庫倫力、拖曳力、重力、以及浮力，亦即：

$$F_D + F_B = F_E + F_G \quad (15)$$

同時在電場強度  $E$ 、奈米微粒帶電量  $q$ 、密度  $\rho_p$ 、流體密度  $\rho_f$ 、以及重力加速度值  $g$ 、奈米微粒粒徑  $d_p$ 、滑溜修正係數  $C_c$  皆為已知的情況下，由式(1)、式(3)、式(4)、以及式(6)即可求出奈米微粒之終端速度為：

$$v = \frac{(\rho_P - \rho_F) \cdot g \cdot C_C \cdot d_P^2}{18\eta} + \frac{q \cdot E \cdot C_C}{3\pi\eta \cdot d_P} \quad (16)$$

### (三) 奈米薄膜機電特性與化學性質量測標準技術建立

#### 薄膜機械性質量測技術

薄膜功能性量測技術中拉伸夾具設計上首要需考量為夾具的重量限制。由於，奈米拉伸量測系統的力量感測器不同於傳統萬能試驗機所採用的荷重元(Load cell)，該儀器所採用的奈米機械致動傳感器為由懸浮彈簧所支撐的感測器，除能用來偵測力量值外，本身亦會有位移形變的產生，最大致動器位移量為  $\pm 1$  mm。加上系統本身能施加承載的力量最大值為 500 mN，若接附於下夾持端的夾具重量過重將導致傳感器的損壞。為避免此一現象發生，在夾具製作上需採用輕量材料如鋁(Aluminum)，並保持下端夾具總重量小於 10 克。其他須考量的因素則依量測的不同需求進行調整，本次設計製作的夾具主要為用於附著與黏附力性質的量測。

對於薄膜黏附於基材上的正向附著力可透過此模組進行測試如圖 2-9 所示，設計上分為三部份。此設計除須注意夾具重量外，亦得考慮由於移除系統下方保護傳感器的安全插銷時，由於夾具重量將造成傳感器下沉，瞬間的重力施加易影響傳感器的安全。故在設計上夾具端處採用空心圓柱套筒，並在套筒兩側相對位置上製作溝槽如圖 2-9(a)，溝槽長度需配合連接待測薄膜的圓棒如圖 2-9(b)，而該圓棒的直徑需小於圓筒保持兩者間無接觸。而裁切為  $1\text{cm}^2$  大小的待測薄膜晶片則透過熱融膠黏附於下夾具上如圖 2-9(c)，並利用該熱融膠於常溫時固化與 130 °C 時液化狀態而讓下夾具可反覆性利用進行試驗。而後將圓棒搭配樹酯(Epoxy)黏附於待測薄膜上如圖 2-10 所示。該薄膜附著力量測模組與系統結合則如圖 2-11 所示，之後便可運用量測系統軟體控制進行試驗。另外，為增加奈米拉伸系統的功能性應用。亦設計如用於量測絲線材料黏附力與三、四點彎矩的夾具，分述如下。

#### (a). 絲線黏附力夾具

該模組如圖 2-12 中的下端部份，主要功能為用於量絲線與不同界面間的黏附力量。僅需將橫向絲線透過紙夾具夾持於上端如圖 2-12 所示，並配合下夾具的使用即可找出絲線與介面的黏附力，試驗數據判斷上採用黏絲瞬間脫離表面的力量點之值。本年度亦利用此一設計協助東海大學生科系完成蜘蛛絲黏附力量測，IP 收入金額 12 萬元整。

#### (b). 三、四點彎矩測試夾具

此夾具如圖 2-13(a)與(b)所示，主要功能為用於量測薄膜承受三或四點彎矩力量時，薄膜受力產生的變形行為，可透過圖 2-13(a)中移除一組滑塊，置換為三點彎矩。於測試時，須先將系統操作模組更換為載重控制(Load control mode)，再選用軟體設定進行試驗。

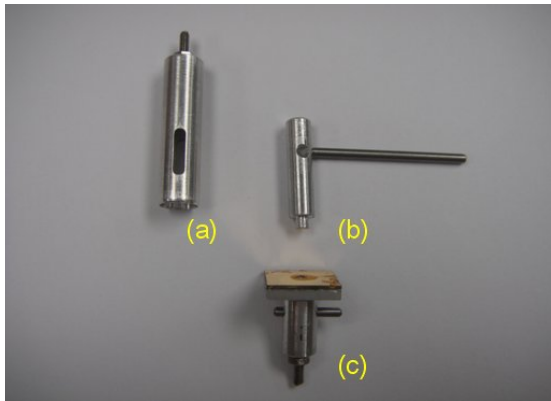


圖 2-9 三段式夾具設計(a)套筒 (b)圓棒 (c) 薄膜載台

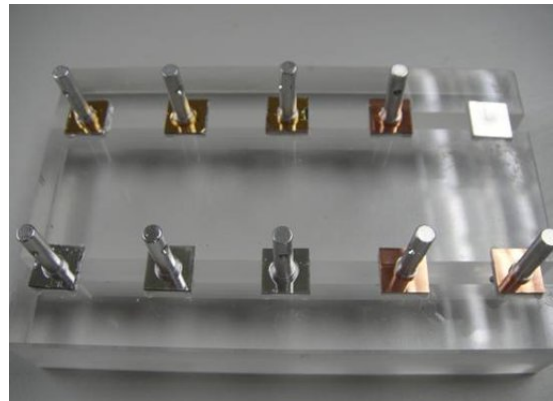


圖 2-10 待測薄膜晶片黏附於載台

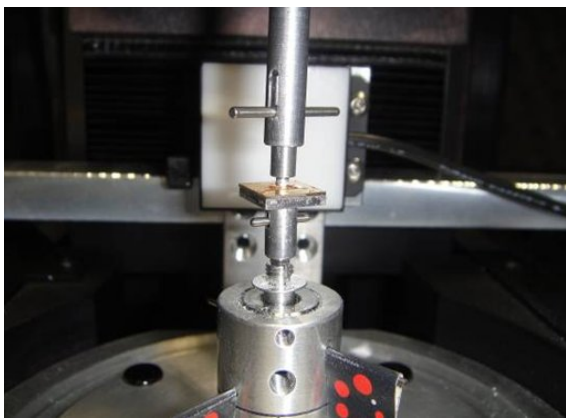


圖 2-11 三段式夾具與系統結合圖

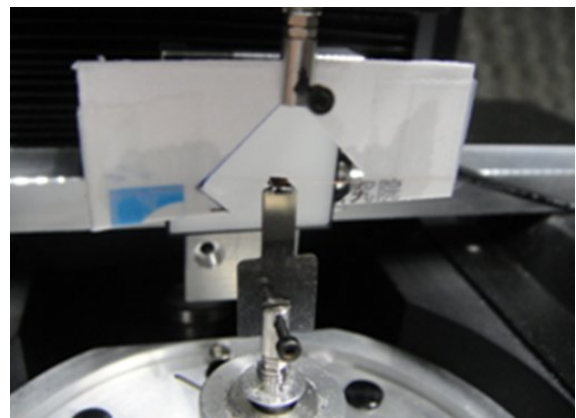
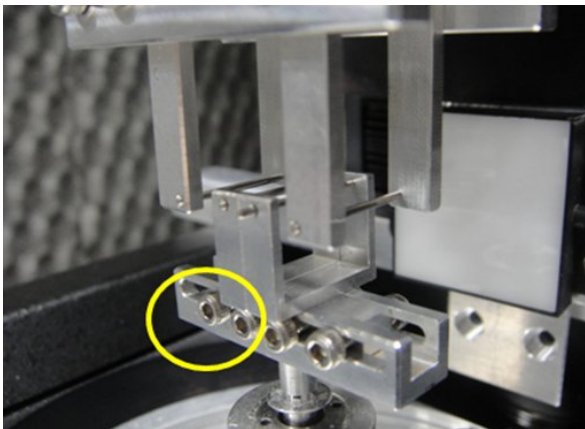
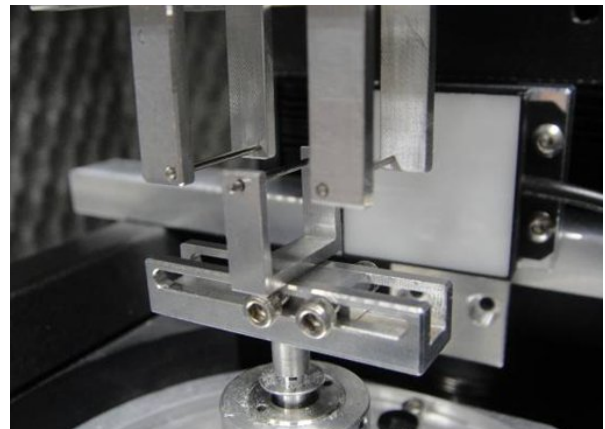


圖 2-12 量測裝置示意圖



(a) 四點彎矩



(b)三點彎矩

圖 2-13 三、四點彎矩夾具(a)四點彎矩 (b)三點彎矩

另外，在運用奈米壓痕量測系統中側向力模組的進行括痕試驗。薄膜括痕試驗可為一般鍍膜於基材上的各類材料，常見如金屬與介電薄膜等。本次研究所採用的薄膜為金屬薄膜，並將其鍍於矽基材上，黏附層採用厚度約  $100 \pm 20$  nm 的鈦膜，再將金膜厚度約  $400 \pm 40$  nm 鍍於其上。

其製程步驟如下:

- a. 採用 4 吋矽(Si)基材，厚度為  $525 \pm 15 \mu\text{m}$
- b. 於基材上電子槍蒸鍍塗佈附著層材料鈦(Ti)厚度約為  $100 \pm 20 \text{ nm}$
- c. 電子槍蒸鍍(E-GUN)金膜(Au)厚度約為  $400 \pm 40 \text{ nm}$
- d. 並將試片裁剪為  $1 \text{ cm} \times 1 \text{ cm}$  的大小

試驗結果數據處理皆為系統自動化處理結果，不需進行額外計算。試驗完成後可將系統試驗資料儲存為\*.hys，該檔可透過奈米壓痕系統軟體進行分析如圖 2-14 所示。先載入試驗資料後，選擇圖畫面左上方分析下的括痕(Scratch)標籤便可將數據以圖形界面呈現。而後選取右邊 Segment Plotted 選擇第 3 段區間(選擇此區間之原因為配合載重函數中實際進行括痕的範圍)。此時，畫面左下方側向力(Lateral Force)可發現力量產生變異的轉折點，再選擇此點對應的正向力即為薄膜與基材間的臨界載重(Critical load)值。圖 2-15 與圖 2-16 分別為金膜於矽基材上(Au-Si)與金膜/鈦膜於矽基材(Au-Ti-Si)上的括痕電子顯微鏡影像圖，為設定相同載重函數與括痕距離條件，可用來觀察薄膜與基材間的剝離與脫層現象。經計算金薄膜附著於矽基材上的臨界載重值為  $7.41 \pm 0.29 \text{ mN}$  (此時側向力為  $2.73 \pm 0.16 \text{ mN}$ )。而多一層鈦膜的附著層量測結果其臨界載重值高於系統上限能力  $9.0 \text{ mN}$ ，得知增加的附著層確實提高的金膜於矽基材上的附著能力，另從電子顯微鏡影像中亦可觀察出此結果。

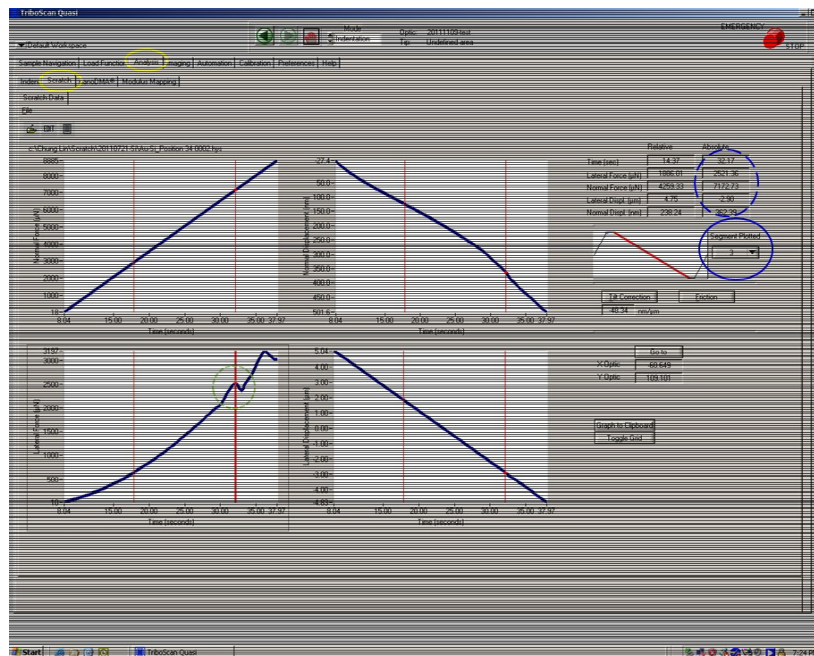
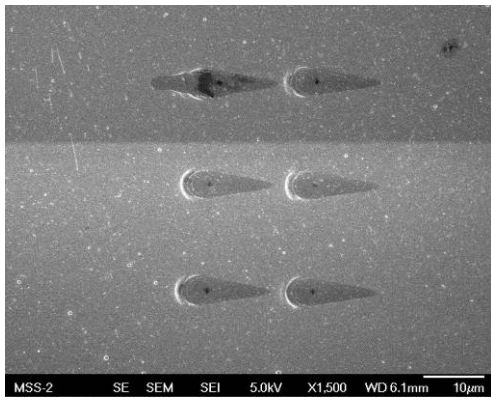
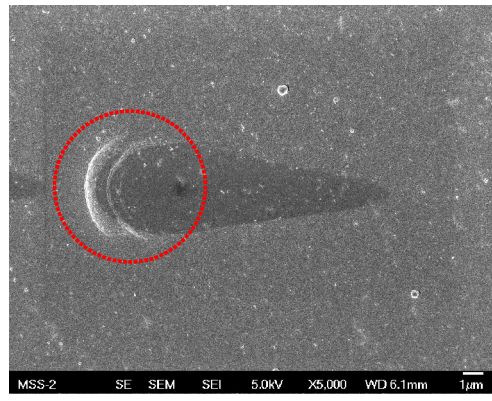


圖 2-14 括痕試驗數據分析

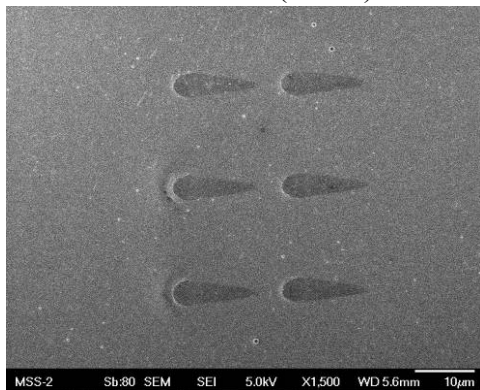


(a)1500 倍



(b)5000 倍

圖 2-15 金膜於矽基材(Au-Si)括痕電子顯微鏡影像圖 (a)1500 倍 (b)5000 倍 放大倍率



(a)1500 倍



(b)5000 倍

圖 2-16 金膜/鈦膜於矽基材(Au-Ti-Si)括痕電子顯微鏡影像圖(a)1500 倍(b)5000 倍放大倍率

### 【突破之瓶頸】

#### (一)薄膜結構參數量測標準及參數量測標準及參考物質量測技術建立

以 AFM 量測 LER/LWR 時，由於 AFM 探針形貌為錐形，掃描量測時，會與待測試片之結構幾何形狀產生干涉(如圖 2-17)，所以在量測時需將試片傾斜一個角度(左側傾斜)，使得幾何形狀干涉問題不會產生(如圖 2-18)，但在此量測結果只有左半部是不有干涉，但結構右測圖像仍無法避免，參考 NIST 量測方法[2-24]，將試片先掃描量測後，再將測試片旋轉 180 度，再度量測後，可得到兩次掃描影像，以 3D 疊合方法，可以得到待測試片之 3D 形貌(如圖 2-19)。

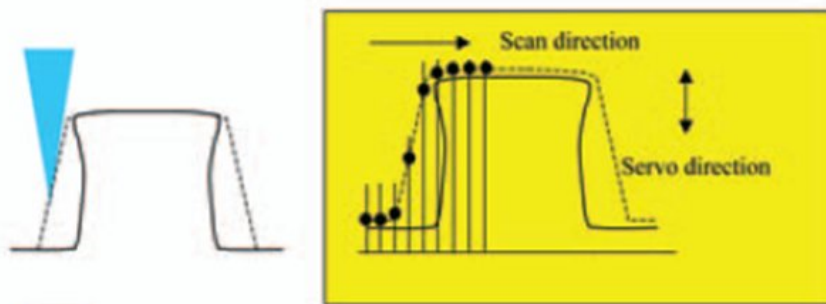


圖 2-17 AFM 探針形貌與待測試片量測干涉

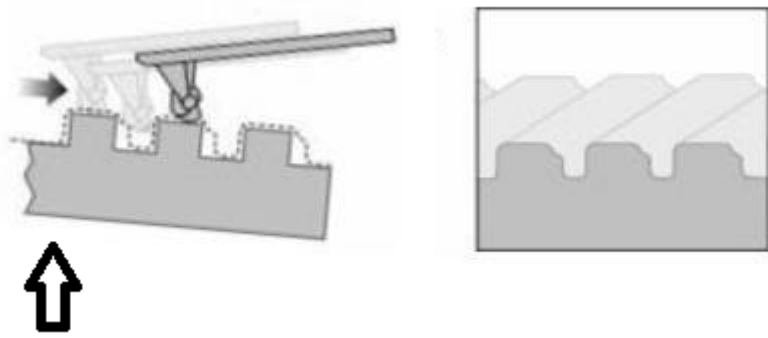


圖 2-18 左傾斜量測避免左側幾何形狀干涉

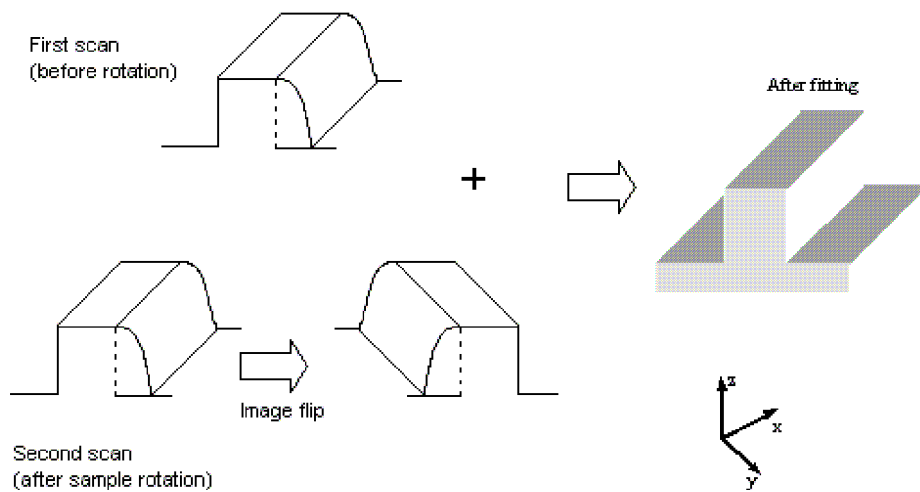


圖 2-19 量測 3D 疊合技術

在進行 3D 疊合技術時，需有特徵點才能疊合，且這些特徵點在兩次掃描量測時，須有一致特性，3D 疊合時，才會有正確結果，但在傾斜量測之先決條件下，特徵點只要是立體的，則兩次傾斜量測，特徵點並不一定會有一致特性，以致疊合誤差變大。所以在本研究上，將量測掃描之 3D 疊合化簡為 2D 疊合，再進行 LER/LWR 分析。2D 疊合時，先將兩次量測 3D 圖像，針對試片凸出或凹陷位置，進行平面水平化，使得量測結果之各 Cross-Section 線都是平水平，2D 疊合不採用 3D 特徵點，而是由量測圖像之 2D 投影特徵處，定義同一位置後，取出兩次掃描量測之 Cross Section 數據，再進行疊合；因 LWR 是計算不同高度時，線寬相對應之變化值，所以疊合時，只要將 Cross Section 之 2D 水平位置重疊就可用來進行 LER/LWR 之數據分析。將上次量測方法以實際量測步驟說明。

(1) 左傾斜試片後進行量測，旋轉 180 度後，再進行第二次量測，得到量測結果如下圖 2-20，由下面左圖之左上部與右圖之右下部，可看出是量測在同一位置。

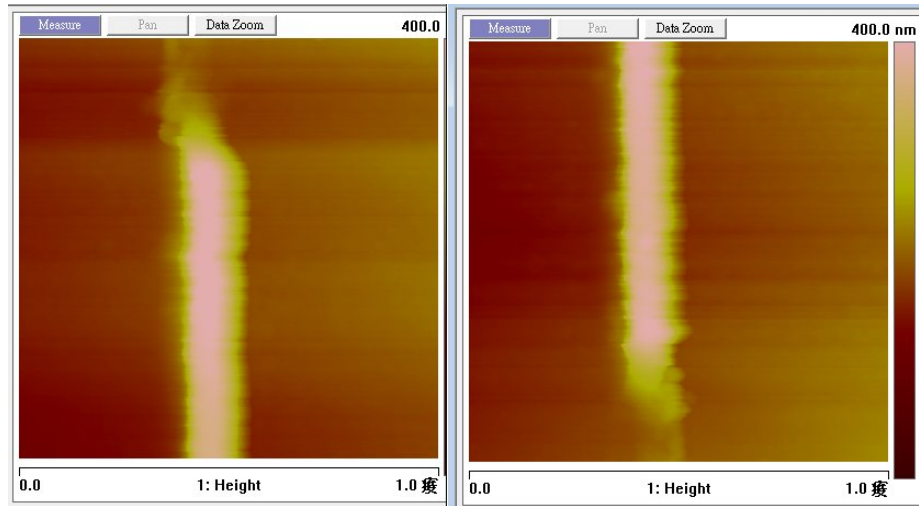


圖 2-20 傾斜與旋轉 180 度兩次掃描影像

(2) 量測圖像之較亮為凸出較高處，選擇凸起處之左右兩處應是同一高度，進行 3D 水平化(如圖 2-21)，使得 cross-section 剖面之形貌基線同為水平線(如圖 2-22)。

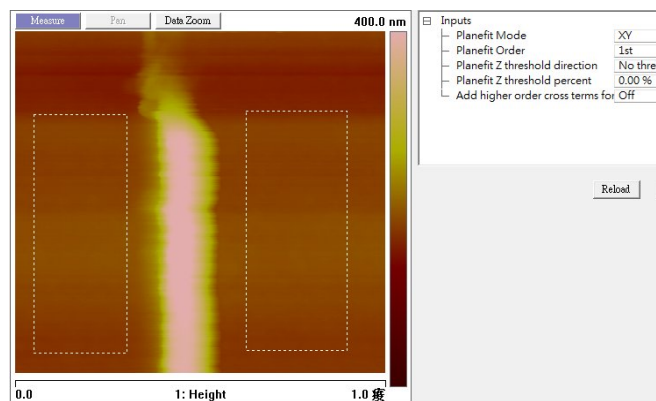


圖 2-21 量測圖像 3D 水平化

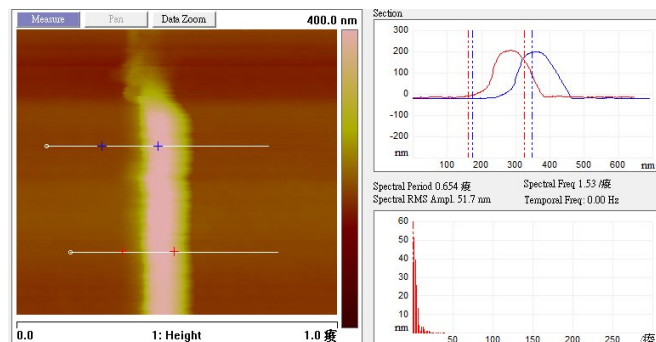


圖 2-22 cross-section 剖面之形貌基線同為水平線

(3) 取兩張量測圖像之特徵位置相同處(圖 2-23)，取出 cross-section 剖面數據，將兩條線水平處疊合如(圖 2-24)。



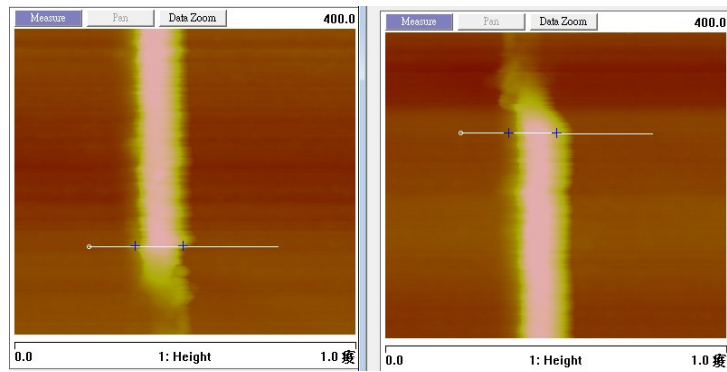


圖 2-23 取兩張量測圖像之特徵位置相同處

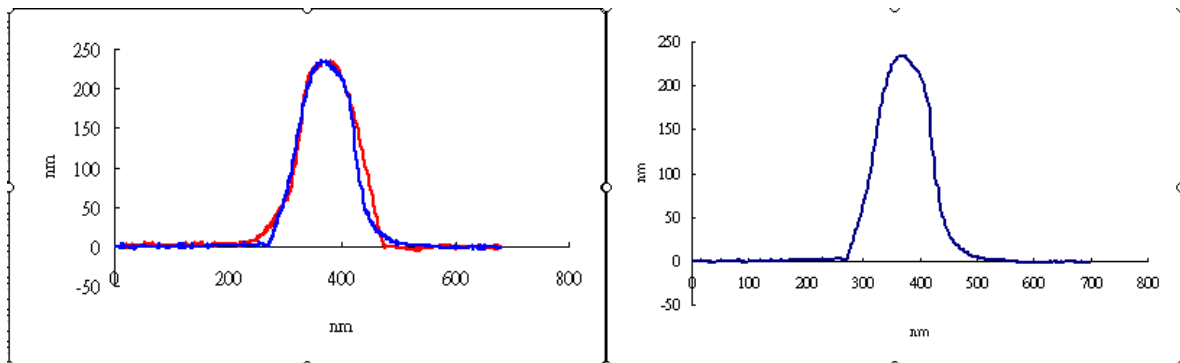


圖 2-24 cross-section 剖面數據疊合結果

(4) 以 cross-section 剖面疊合數據，進行軟體計算，可得到 LWR 與兩側之 LER。  
 LER/LWR 在定義上，要能顯示出形貌變異量，LER (Line edge roughness) 可以定義為在直線圖案 (line pattern) (如圖 2-2)中，由於線寬邊緣 (line edge) 的不均勻，對應於理想直線在沿著光阻邊緣所造成的偏差，一般以偏差的三倍標準差 (3 sigma) 作為衡量標準；而由於直線雙邊邊緣之變動造成線寬的偏差，則稱為 LWR (Line Width roughness) (如圖 2-2 所示)。由圖 2-2 所示，LER/LWR 可表示如下式：

$$LER = 3\sqrt{\frac{(X_i - \bar{X})^2}{n}}$$

$$LWR = 3\sqrt{\frac{(W_i - \bar{W})^2}{n}}$$

其中

$X_i$ : 在量測方向第  $i$  點之位置

$\bar{X}$ : 各點位置之平均值

$W_i$ : 第  $i$  點之線寬

$\bar{W}$ : 線寬之平均值

LER/LWR 之量測不確定度評估方程式可表示為

$$u_2 = u_2(w) + u_2(\varepsilon)$$

其中  $\varepsilon$ : LER/LWR 量測重複性、疊合誤差

$$w = 3 \sqrt{\frac{(w_i - \bar{w})^2}{n}} \quad (w = W \text{ 或 } w = X)$$

$$u^2(w) = \frac{9}{n} [u^2(w_1) + u^2(w_2) + u^2(w_3) + \dots + u^2(w_n)]$$

$$u^2(w) = \frac{9}{n^2} [n \cdot u^2(w)] = \frac{9}{n} [u^2(w)]$$

$w$  為量測時，掃描所得到曲線量測值，所  $u(w)$  之不確定度來源可包括量測解析度及儀器準確度等。

量測解析度之不確定度  $u(p_1)$

量測 LER/LWR 時，量測範圍為  $1 \mu\text{m}$ ，使用 512 點量測，對應之解析度為  $4 \text{ nm}$ 。估計其機率分布呈矩形分布，則可得

$$u(p_1) = \frac{4 \text{ nm}}{2\sqrt{3}} = 1.16 \text{ nm}。$$

估計相對不確定性為  $20\%$ ，則可得自由度  $\nu_{pm2} = 12.5$ 。

儀器準確度之不確定度  $u(p_2)$

本實驗使用儀器的出廠文件其準確度為  $\pm 1\%$ ， $pm = 50 \text{ nm}$ ，則線寬值將有  $\pm(50 \text{ nm}) \times (1\%)$  的變異量。估計其機率分布呈矩形分布，則可得

$$u(p_2) = \frac{(50 \text{ nm})(1\%)}{\sqrt{3}} = 0.29 \text{ nm}。$$

估計相對不確定性為  $20\%$ ，則可得自由度  $\nu_{pm2} = 12.5$ 。

計算其組合標準差，可得到

$$u(w) = \frac{3}{\sqrt{n}} [1.19] = 0.16 \text{ nm} \quad (n:512)，\text{自由度為 } 13。$$

LER/LWR 之重複性不確定度  $u(\varepsilon_1)$

由試片不同位置，選取 6 次重複分析，分別得到量測值為  $47.35 \text{ nm}$ 、 $45.35 \text{ nm}$ 、 $49.21 \text{ nm}$ 、 $47.24 \text{ nm}$ 、 $42.31 \text{ nm}$ 、 $45.31 \text{ nm}$ ，計算其標準差為  $2.37 \text{ nm}$ ，因量測值是取 6 次平均值，所以重複性為

$$0.967 \text{ nm} \left( \frac{2.37}{\sqrt{6}} \right)，\text{自由度為 } 5。$$

LWR 之疊合誤差不確定度  $u(\varepsilon_2)$

當疊合時，選取兩張掃描影像對應位置時，會有偏差，由選取對應位置時，離最佳值之偏移  $\pm 2$ 、 $\pm 4$ 、 $\pm 6$  點位置，由試片不同位置，進行 LWR 分析，選取 6 次分析 LWR，計算其標準差為  $0.18 \text{ nm}$ ，自由度為 6。

計算組合不確定度，可得到最佳校正能力為  $2.54 \text{ nm}$  ( $k = 2.57$ ， $w = 50 \text{ nm}$ )

## (二) 薄膜表面特徵量測標準技術建立

### 晶圓表面散射光量測系統分析（系統查驗）

如圖 2-4 所示，本晶圓表面奈米微粒粒徑量測系統中，綠光雷射首先通過起偏器以獲得高消光比之線偏振光，並以  $\theta_i$  之入射角、平行入射面之  $p$  偏振態入射試件晶圓表面。再於極角  $\theta_r$  和方位角  $\phi_r$  之方向偵測散射光的偏振特性。接下來依序調整不同之方位角  $\phi_r$ ，獲得散射光橢圓偏振主軸角度  $\eta$  隨著不同方位角  $\phi_r$  的變化情形。

傳統採用散射光的強度來判斷微粒粒徑值之商用系統，容易受到偵測器雜訊與雷射光強度擾動或衰減的影響，因此其粒徑解析度不高，只能偵測某粒徑範圍內奈米粒子之存在與否，無法標示出微粒準確之粒徑值。

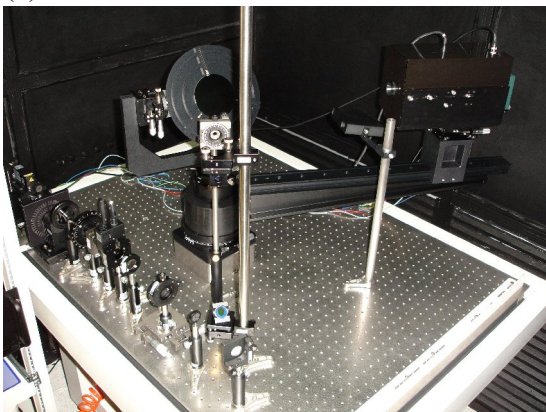
本晶圓表面奈米微粒粒徑量測系統憑藉著高度的重複性與穩定性，採用比較式校正法與粒徑範圍分段內差的方式，實現了良好之晶圓表面奈米微粒粒徑校正能力。

### 晶圓表面 30 ~ 60 nm 微粒分佈量測研究

本計畫今年重新設計製作一高效率之奈米粒子沉降系統，並完成系統測試，可將原本將近一個月之 20 nm 粒子沉降時間大幅縮短為兩天。除了拉近佈植腔內奈米微粒入口與欲佈植之晶圓間的距離以縮短沉降時間之外，更設計了高絕緣的電極供外加電場以加速奈米微粒的沉降。

本計劃亦改裝原有晶圓表面奈米微粒粒徑量測系統之樣品載台，加入電控雙軸線性滑軌做為掃描待測樣品晶圓之運動機構，如圖 2-25 所示。利用目前系統將可供 12 吋晶圓表面奈米微粒分佈量測之用。

(a)改善前



(b)改善後(待拍照)

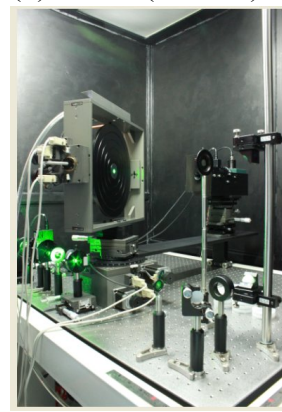


圖 2-25 晶圓表面奈米微粒粒徑量測系統改良

## (三) 奈米薄膜機電特性與化學性質量測標準技術建立

### 薄膜機械性質量測技術

在薄膜功能性量測技術上，設計不同夾具來解決運用奈米拉伸系統進行薄膜材料機械

性質量測問題，如正向附著力與黏附力的測試。奈米拉伸系統所採用的奈米機械致動傳感器為由螺旋形懸臂彈簧所支撐的精密感測器。除能用來偵測力量值外，本身承受夾具重量時會有位移變形的產生。雖然，系統會自動回歸零點範圍區間，但當移除保護傳感器的安全插銷時，傳感器受到夾具的重量瞬間產生位移，若位移控制不當或接附於下夾持端的夾具重量過重等將導致傳感器的損毀。為避免此一現象發生，在夾具製作上需採用輕量材料如鋁材質，並保持下端夾具總重量小於 10 克；而三段式套筒夾具設計則可避免試驗進行前精密傳感器因不當施載產生過量形變而造成損壞。並可解決薄膜正向附著力量測的夾持問題，藉以增加微奈米機械性質量測系統的功能性與應用。而在奈米壓痕量測系統上則是找出判斷臨界載重的依據，有利於建立薄膜材料機械性質的資料庫。

### 【待改善之處】

#### (一) 薄膜結構參數量測標準及參數量測標準及參考物質量測技術建立

在量測 LER/LWR(Cross-Section)時，當量測在陡峭邊緣時，在同樣的量測掃描速度下，由於傾斜角度都接近 90 度，所以 AFM 掃描量測時，測試件之奈米結構很容易與 AFM 探針形貌產生干涉，且在垂直壁之量測點數也是相對的少，因此本文採用傾斜量測方法，經實際實驗量測，採取傾斜角度約為  $7.5^\circ$ ，量測點數也可提高到 40~60 點數(視 SWA 角度而異)。一般而言對於 AFM 探針而言，都是假設探針尖端為圓球，但實際上，探針尖端為近似圓錐，當試片傾斜角度大時，且試片量測深度約為 220 nm，探針尖端只有 2 nm~5 nm，所以接觸位置所造成量測偏差與球形形貌影響完全不同，更何況需將試片旋轉  $180^\circ$ ，進行第二次掃描量測，再進行疊合；未來應對探針形貌如何在量測前，能先重建其形貌，量測後，先進行量測結果修正探針形貌影響，再進行疊合會有較正確結果。

#### (二) 薄膜表面特徵量測標準技術建立

如圖 2-26 所示，本晶圓表面奈米微粒粒徑量測系統乃採偏振散射光分析法，收集特定視野範圍(Field of View)內的奈米微粒散射光，分析其橢圓偏振主軸角度 $\eta$ 隨著不同方位角 $\phi_r$ 的變化情形，此偏振特主軸角度 $\eta$ 為視野範圍內所有奈米微粒整體之表現。根據 ASTM E1392-96(2002) [2-25]，準直或是緩慢收斂的光源都可以用來做為散射光量測之用。一般的儀器都是使用聚焦於接收器的收斂光源。如果使用收斂角度小(緩慢收斂)的光，則由非唯一入射角所引起的不確定度源即可被忽略。

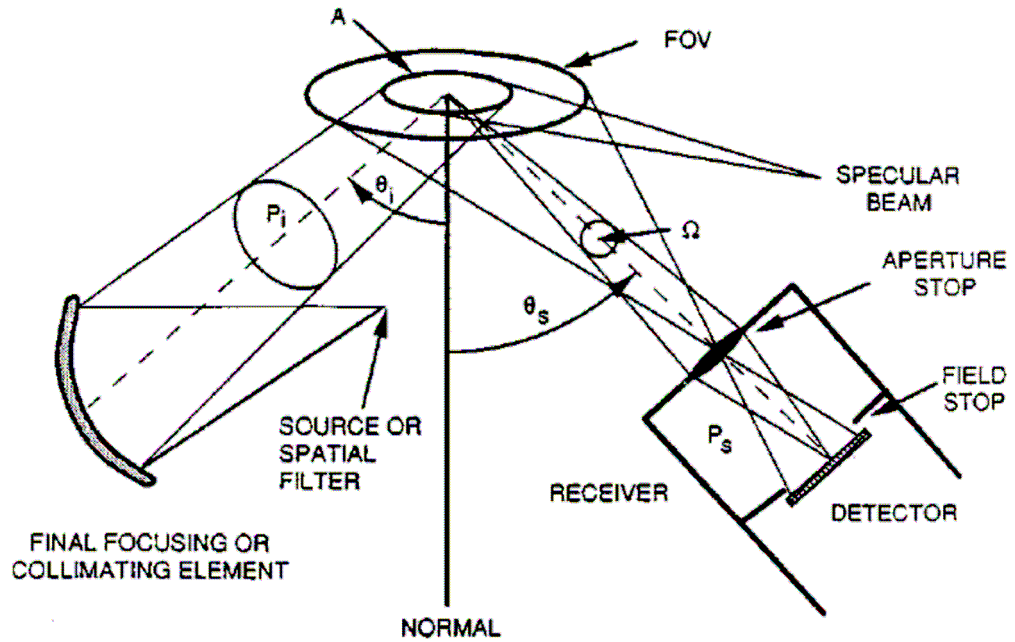


圖 2-26 散射光量測系統光路示意圖

由於本系統乃利用散射光橢圓偏振主軸角度  $\eta$  隨著不同方位角  $\phi$  的變化情形來判斷出奈米粒子粒徑，入射角  $\theta_i$  之正確性是本系統的關鍵點之一。因此本系統即依據 ASTM E1392-96(2002) [2-25]，採用緩慢收斂並聚焦於接收器表面之光源。反之若要達到晶圓表面微粒分布量測之用途，就必須將雷射光點縮小到數  $\mu\text{m}$  之等級。若以 fundamental Gaussian beam 來描述往  $z$  軸傳播的雷射光束：

$$E(x, y, z) = E_0 \cdot \frac{w_0}{w(z)} \cdot \exp\left(-\frac{r^2}{w^2(z)}\right) \cdot \exp\left\{-i[kz - \eta(z)] - \frac{ikr^2}{2R(z)}\right\} \quad (17)$$

其中， $\eta(z) = \tan^{-1}\left(\frac{z}{z_R}\right)$  為 Gouy phase shift、 $w(z) = w_0 \sqrt{1 + \frac{z^2}{z_R^2}}$  為 spot size，定義為當雷

射光強度降為中心值之  $1/e^2$  時之半徑、 $R(z) = z\left(1 + \frac{z_R^2}{z^2}\right)$  為波前之曲率半徑、 $w_0$  為 beam

waist，為光束最細的地方的半徑、 $Z_R = \frac{\pi w_0^2}{\lambda}$  為 Rayleigh range，為光束的特徵發散長

度，也就是光束半徑從  $w_0$  發散到  $\sqrt{2}w_0$  時的距離、 $\lambda$  為波長。

如圖 2-27 所示，此雷射光束之發散程度，可以藉由發散角  $\Theta$  來解釋。當  $z \gg z_R$ ，發散角  $\Theta$  近似於

$$\Theta \cong \tan \Theta = \frac{w_0}{z_R} = \frac{\lambda}{\pi w_0} \quad (18)$$

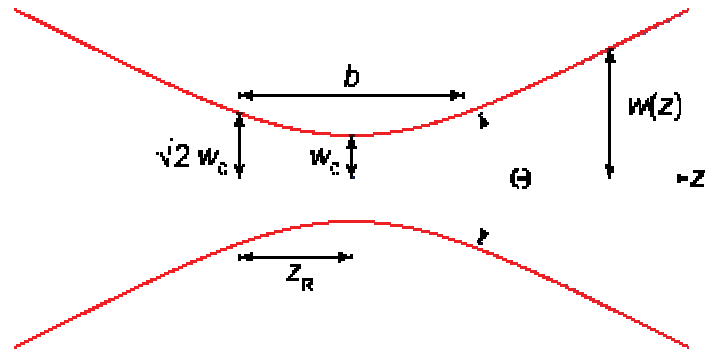


圖 2-27 Gaussian beam 示意圖

由 2-19 式可以知道，當  $w_0$  越小，則發散角  $\theta$  則越大。欲得到極小雷射光點意味著必須大角度收斂光束。但由於大角度收斂之雷射光束內所包含之入射角並非唯一，將會引入相當大之不確定度。並且，為使本系統接收器收集到之散射光強度，足夠供給接收器判斷偏振主軸角度  $\eta$  所需，因此入射於樣品試片表面之雷射光點直徑達數 mm 之譜。作為晶圓表面奈米微粒分佈量測則其空間解析度稍嫌不足，如圖 2-28 所示。

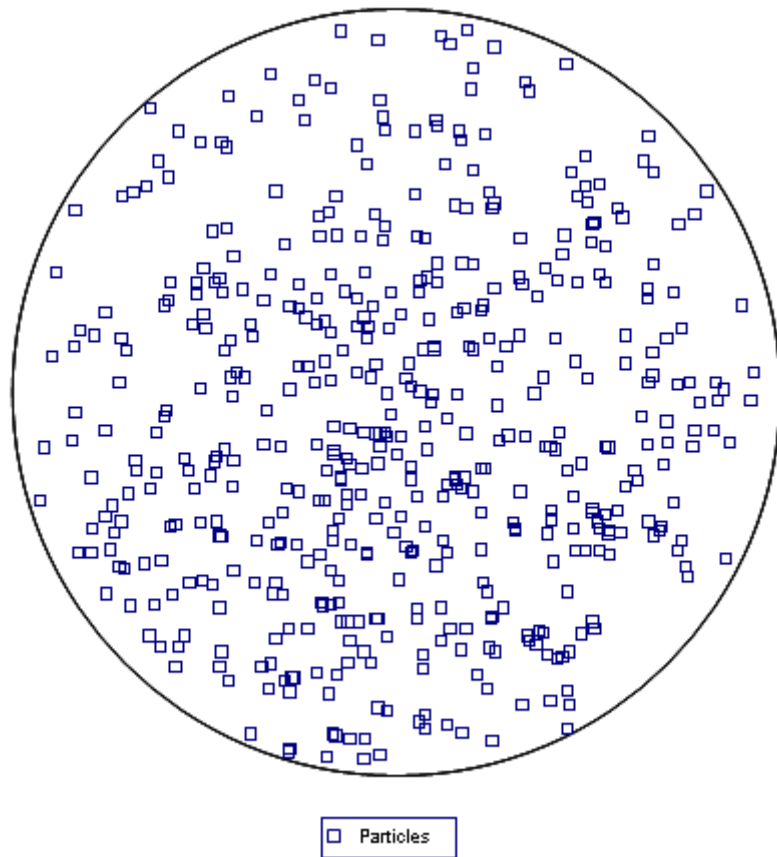


圖 2-28 奈米微粒分佈量測掃描結果

### (三) 奈米薄膜機電特性與化學性質量測標準技術建立

目前在薄膜附著力的量測上，並無一定的標準量測規範與程序。本研究利用設計適當夾具配合運用奈米拉伸系統進行薄膜正向附著力的測試；而奈米壓痕量測系統上則透過側向力模組進行薄膜臨界載重值的量測，用以判斷薄膜附著於基材上的優劣性。在奈米拉伸系統中，用來進行薄膜正向附著力的介面黏著層均勻性具有影響量測結果的準確性。故黏著層材料的選擇與塗佈均勻性上須更加精準的探討，且在界面膠層的考慮上可能仍需配合待測薄膜材料的種類進行調整。而利用奈米壓痕量測系統進行括痕試驗，找出薄膜附著於基材的臨界載重值。雖然，目前為半導體薄膜產業較常採用的方式，但由於臨界載重點的判斷上須配合電子顯微鏡掃描括痕影像，方能準確判斷薄膜與基材間的剝離與脫層行為。兩系統測試方法所採用的方式在定量與定性上仍有改善之處。若能有效解決相關問題，或許在未來能成為量測薄膜附著力的標準方法之一。

### 【後續工作構想及重點】

#### (一) 薄膜結構參數量測標準及參數量測標準及參考物質量測技術建立

隨著線寬製程愈小，對應要量測之 CD 參數會愈多，所以在 45 nm 以下製程，除了現有 CD 參數外，也需量測線邊緣表粗(Line edge roughness, LER)/線寬表粗(line width roughness, LWR)，LER 可延續 SWA 量測方法，再加上表粗之計算分析，除了要了解線寬平行方向之 LER/LWR 外，也需對在 cross-section 之 LER/LWR 進行量測。在線寬製程更小時，如 30 nm 或 22 nm 線寬製程，AFM 探針尺寸最小為 2~5 nm，對 CD 量測時造成誤差影響量相對而言會愈大，但 CD-SEM 會損壞試片形貌困難，而 TEM 則一定要切片才能量測，所以用 AFM 量測 CD 參數有其必要性。

應用於 50 nm 線寬以下試片，探針形貌、尺寸會是影響量測不確定度最重要影響因素。使用 superahsrp 超細探針，有較小的尖端直徑，但也因此較易磨耗探針尖端；探針耐磨性經鍍膜單分子薄膜層，可得到明顯改善尖端高度磨耗；深入研究，使用鍍膜探針，如何線上即時得到探針形貌，進而直接修正掃描量測影像，以提昇量測精度。因此未來研究主要課題為 AFM 探針形貌即時鑑別、探針形貌對量測結果之修正方法。

#### (二) 薄膜表面特徵量測標準技術建立

晶圓表面散射光量測系統分析（系統查驗）

圖 2-29 為此晶圓表面奈米微粒粒徑量測系統示意圖。本系統機械結構上最關鍵也最容易造成量測誤差的重點為，(a)  $\alpha$ 角與 $\delta$ 角轉軸必須共線且垂直桌面、(b) 此轉軸必須正好位於樣品表面、(c) 此轉軸必須與 $\beta$ 角與 $\gamma$ 角轉軸互為正交且共交點、(d) 雷射光必須平行桌面入射於此交點、(e) 偵測器法線平行桌面、(f) 偵測器法線通過上述之轉軸與雷射相交點。以上種種關鍵因素缺一不可，任何一點未達到即將造成所量測偏振光的接收角度錯誤或是位置偏移，而造成無法預期之量測結果。

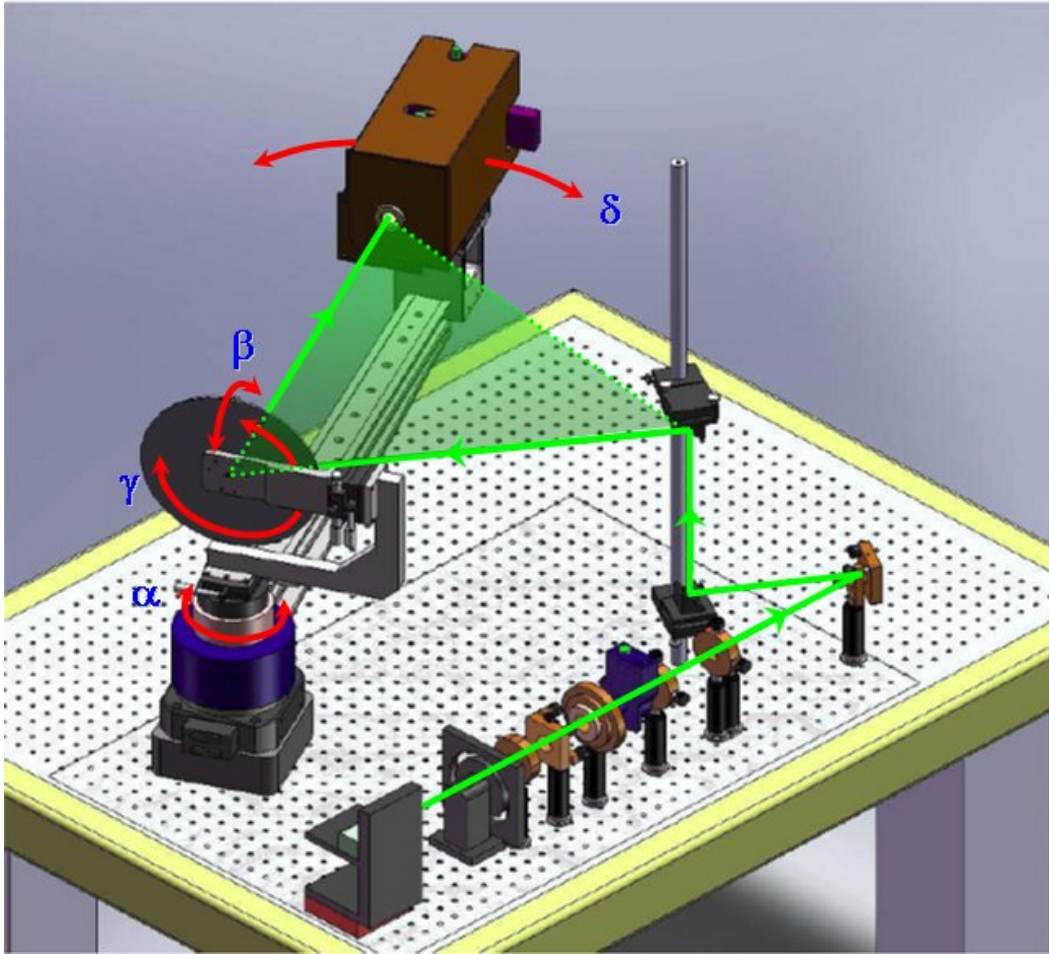


圖 2-29 晶圓表面奈米微粒粒徑量測系統示意圖

唯 100 nm 以下之奈米微粒，其散射光橢圓偏振主軸角度 $\eta$ 並非單調的與粒徑值成正比，粒徑越小 $\eta$ 角度就越平緩，而是會隨著不同的粒徑值與不同的方位角 $\phi_r$  而產生特定忽大忽小的變化，如圖 2-30 所示。如此將很難再採用比較式校正法與粒徑範圍分段內差的方式來推估出待測粒徑值。所以若要將奈米微粒粒徑量測範圍拓展到 100 nm 以下，必須要設法使量測之主軸角度 $\eta$ 與方位角 $\phi_r$  關係曲線吻合理論曲線，並採用理論曲線內差的方式來推估而得到待測粒徑值。

本晶圓表面奈米微粒粒徑量測系統為一手動之四軸旋轉偏振散射光量測系統。設計之初未能完全考量到上述之關鍵點，再加上手動調整角度花費太多時間，其調整之重複性與正確性亦影響了系統之不確定度。因此有必要將系統升級成自動化量測系統，以降低旋轉角度之重複性與正確性所貢獻之不確定度，並於設計之初即將上述之關鍵點納入考量並預留微調機構，以竟晶圓表面奈米微粒粒徑量測之功。



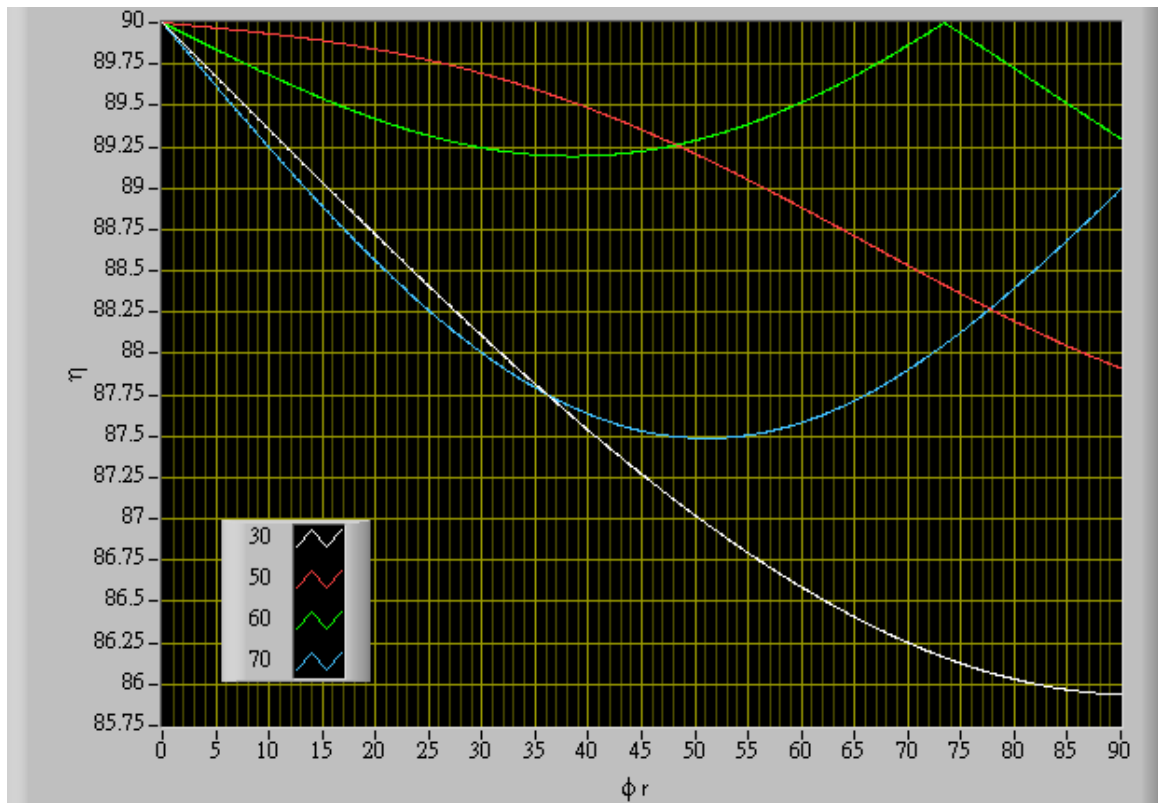


圖 2-30 理論主軸角度  $\eta$  與方位角  $\phi_r$  關係圖

#### 晶圓表面 30 ~ 60 nm 微粒分佈量測研究

由圖 2-28 奈米微粒分佈量測掃描結果可以發現目前系統雖可以判斷晶圓表面奈米微粒的分佈情況，但若要提昇空間解析度與粒徑解析度，必須置換短波長雷射光源和相關鏡組、升級成自動化量測系統，以量測到更小的奈米微粒粒徑 (< 20 nm)，並重新設計聚焦鏡組，縮小雷射光點大小，以達到數 10  $\mu\text{m}$  之分佈量測空間解析度。

#### (三) 奈米薄膜機電特性與化學性質量測標準技術建立

在本次研究中，雖然能實現分別利用奈米拉伸與奈米壓痕量測系統進行薄膜附著力相關量測。但在量測薄膜機械特性標準化上，仍需更進一步的探討。由於，薄膜材料的種類甚多，如高分子，金屬與介電薄膜以及近年較為熱門的石墨烯等材料。在量測性質上配合薄膜材料的種類調整量測技術應該被加以考慮，而量測方法上的差異性與如何將量測技術導向一致性，則為未來工作的努力方向之一。

另外，對於目前國際上量測薄膜機械性質規範如何落實至國內產業上亦是重點。如奈米壓痕量測規範 ISO 14577 的繁體中文版本標準化，將有助於量測上的一致性。未來計畫邀請相關產業與學術研究者等進行討論規範內的適用性。

### 三、奈米國際量測與產品標準推動分項計畫

#### 【本年度目標】

- (一) 奈米諮議會持續運作，整合國內的奈米標準的意見與需求。
- (二) 規劃向 ISO 或 IEC 或 VAMAS 提案項目。
- (三) 重點參加 ISO/IEC/VAMAS/ANF 之 TC 相關會議，國際奈米相關標準文件資料之蒐集整理，更新國際奈米相關標準之發展資訊、徵詢國內對發展中提案意見、並依各個國際標準組織規定的流程對提案作意見陳述或修改提案內容。
- (四) 奈米標準文件規劃與制定：
  1. 奈米標準諮議工作組一：中文正體化 ISO TC229 WG1 的標準並調合與中文簡體版並參與 ISO TC229 WG1 的標準制定。
  2. 奈米標準諮議工作組二：(1) 奈米粒子量測標準規劃。(2) 參與 ISO TC229 WG2。(3) 參與 VAMAS 的標準制定。
  3. 奈米標準諮議工作組三：參與 ISO TC229 WG3 的標準制定。

#### 【本年度成果】

- (一) 奈米諮議會運作，整合國內的奈米標準的意見與需求。

諮議會於 FY98 由奈米國家型科技計畫辦公室、經濟部標準檢驗局指導設立，並委由工研院量測技術發展中心擔任秘書處，協助奈米標準技術諮議會之運作。目前有標準檢驗局、國衛院、環保署、工研院、電機電子公會、機器工業公會、台灣奈米技術產業發展協會、SEMI 台灣、微系統暨奈米科技協會、國家奈米元件實驗室、國家儀器科技研究中心、台大、成大、台積電、台灣永光化學、漢民科技、UL 台灣、閎康科技等奈米技術相關產政學研專家學者參加，並有諮議會三十位代表。奈米標準技術諮議會的成立，為國內外之奈米標準提供更多之貢獻及指導，我國奈米標準的制訂，將參照國內外需求，由國內專家學者組成技術工作組，起草制訂相關奈米標準，並藉諮議會作為與國際標準協調平台的運作，讓奈米標準的訂定與國際同步，同時讓台灣新興的奈米產品與科技產業獲得通行全球的保證。其架構經兩年的運作，大致確定如下圖方式運作，國內有 4 個工作組(TWAs)，共約 40 餘位專家，國外對應 ISO/IEC/VAMAS 等國際標準組織共有 10 專家，ISO/IEC 是以外部聯盟(Asia Nano Forum, ANF)的方式參與，VAMAS 是以工研院量測中心為會員直接參與。

#### 1. ISO/TC 229: A-liaison through ANF (無提案權)

Liaison officer: 蘇宗榮

WG1 delegate: 蘇宗榮(工研院), WG2 delegate: 姚斌誠(工研院)

WG3 delegate: 楊重熙(國衛院), WG4 delegate: 林唯芳(台大)

#### 2. IEC/TC 113: D-liaison in WG3 through ANF(可提案)

Liaison officer: 洪銘輝(清大)

Registered experts: 蘇宗榮、吳茂昆、姚斌誠

#### 3. VAMAS (Chinese Taipei, 有提案權)

Representative: 段家瑞(工研院)

Delegate: 張啟生, 傅尉恩(工研院)

## 「奈米諮議會」架構參與國際標準組織之相互關連性

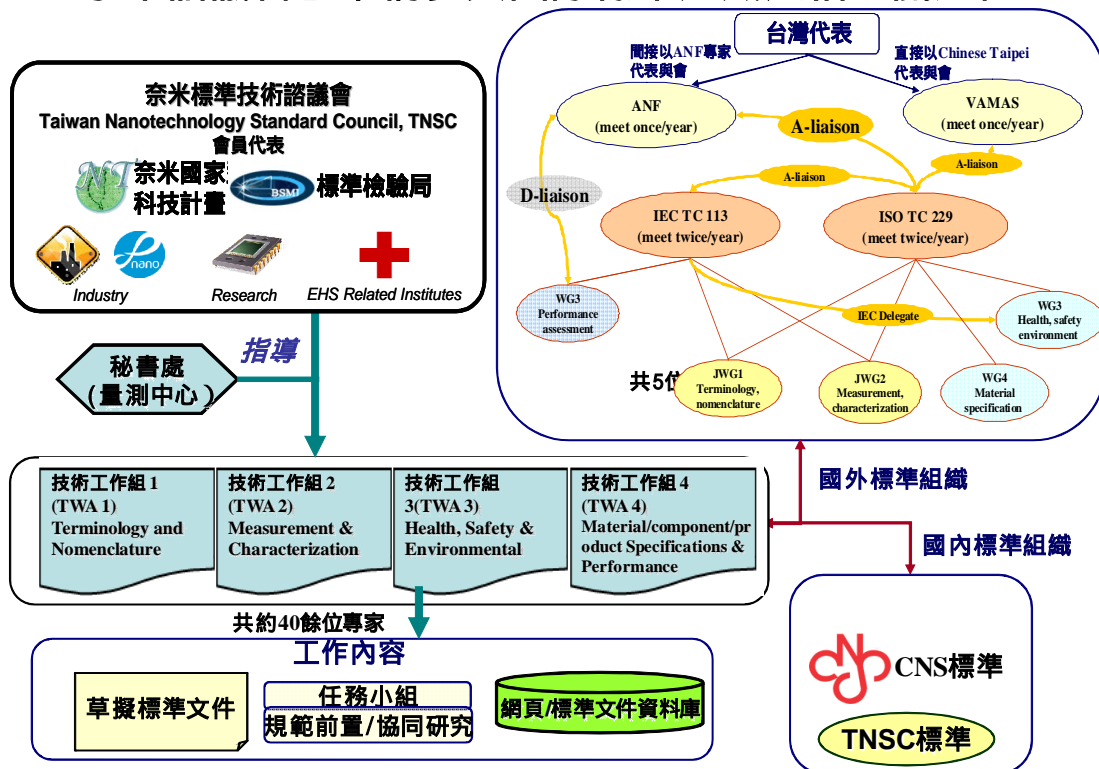


圖 3-1 奈米標準技術諮議會架構與運作方式

### FY100 第一次 TNSC 會議

台灣奈米標準技術諮議會 (Taiwan Nanotechnology Standard Council, TNSC) 2011 年 3 月 17 日在台大集思會議中心阿基米得廳舉行 100 年第一次會議，由新任奈米國家型科技計畫總主持人吳重雨主持，會中進行新舊主席交接(吳重雨/吳茂昆)、諮議會技術工作組及秘書處工作報告與資料分享、TNSC 標準制定原則討論與決議、並討論新會員申請案，會中全體出席委員決議通過中央研究院物理研究所、工研院材料與化工研究所、清華大學奈微與材料科技中心加入台灣奈米標準技術諮議會 (代表人: 吳茂昆 所長、蘇宗絜 所長、李紫原 教授)，會中並對 TNSC 標準制定案討論(2 案，enquiry stage)，會議主要結論：

1. 會議中, 委員們修正 " 出版階段 " 投票數為 " TNSC 主要委員的 2/3 同意票即成案 " ; 另其它細節敘述由秘書處後續補充後投票表決。
2. 決議 TNSC 會議每年召開二次。
3. 標準提案一: 奈米技術 奈米體 (nano-objects) 的術語與定義 - 奈米顆粒 (nanoparticle)、奈米纖維 (nanofibre) - 及奈米板 (nanoplate) Nanotechnologies - Terminology and definitions for nano-objects - Nanoparticle, nanofibre and nanoplate (ISO/TS 27687:2008) , 建議 TWA1 主席針對委員意見逐項說明或與 TWA1 專家

討論後，再決定是否送至秘書處進行 ” 出版階段 ” 投票。

4. 標準提案二：奈米產品：表面粒子尺度測定法 - 掃描電子顯微鏡 Method of Dimensional Measurement of Nanoparticles on Product ' s Surface - Scanning Electron Microscope，建議 TWA2 主席針對委員意見說明後，可進行 ” 出版階段 ” 投票，本案為國內自發性提出，未與 ISO/IEC 連結，可考量是否可與其它單位（如食品、藥品、化妝品 等奈米產品）需求整合可能。

### **FY100 第二次 TNSC 會議**

台灣奈米標準技術諮議會（Taiwan Nanotechnology Standard Council, TNSC）2011 年 12 月 13 日在台灣金融研訓院舉行 100 年第二次會議，由奈米國家型科技計畫總主持人吳重雨主持，會中進行諮議會技術工作組及秘書處工作報告與資料分享、TNSC 標準制定細則討論與決議、並討論 TNSC 標準案(1 案，final stage)，會議主要結論：

同意 TNSC 標準制定細則。

1. 確認 TNSC 標準案：“奈米產品：表面粒子尺度測定法 - 掃描式電子顯微鏡 NANOPRODUCT: METHOD OF DIMENSIONAL MEASUREMENT OF NANOPARTICLES ON SURFACE - SCANNING ELECTRON MICROSCOPE” 投票結果及修正編輯上錯誤後出版。

奈米標準技術諮議會正可作為與國際標準協調的平台，讓標準的訂定與國際同步；同時積極建構奈米技術相關標準之資訊分享與交流平台，整合各界意見、凝聚共識，促進國內奈米產業加速發展。除推動國際一流水準的奈米標準，俾便對於奈米技術商品化過程中的每一個階段，能真實地理解與掌握製造過程，確保產品品質，更進一步地，溝通調和國際標準，增進環境、健康與安全等風險評估，藉由具公信力的量測數據，消釋大眾對於奈米產品功效與安全疑慮，從而促進奈米技術的蓬勃發展。

### 100 年台灣奈米標準技術諮議會(TNSC)各技術工作組(TWA)工作成果

#### 1.TWA 1 部份

(1)奈米標準技術第一工作組(TWA 1)簡介：

- 成立宗旨：奈米技術標準之規劃、制訂與相關研究工作
- 奈米標準技術第一工作組任務：負責 Terminology and Nomenclature 技術  
規劃、制訂活動之辦理
- 成立奈米標準技術第一工作組成員共 10 位(不含秘書)，來自研究單位代表比例占 10%、學界單位代表比例占 50%及政府主管機關代表比例占 40%。

第一工作組成員：

主席：蘇宗燾 所長(工研院材料與化工研究所)		秘書：黃煌琦
第一工作組成員	單位代表	職稱
吳國龍	經濟部標準檢驗局	技正
阮國棟	行政院環境保護署環境檢驗所	所長
張宣武	行政院環境保護署永續發展室	組長
林慶隆	國立編譯館	主任
林鴻明	大同大學材料工程學系	教授
楊美惠	台灣大學化學系	教授
葉孟考	清華大學動力機械工程學系	教授
洪肇嘉	雲林科技大學環境與安全衛生工程系	教授
黃萬居	台北市立教育大學應用物理暨化學系	教授

(2)第一工作組活動與進度：

- ISO/TS 27687:2008 — Nanotechnologies — Terminology and definitions for nano-objects —Nanoparticle, nanofibre and nanoplate 中文化文件，依 TNSC 委員審閱回覆意見與工作組委員討論後，完成修訂至第 12 版，將再次提送 TNSC 委員進行投票表決。
- 完成 ISO/TS 80004-3:2010 — Nanotechnologies — Vocabulary — Part 3: Carbon nano-objects 中文化文件之翻譯(第 4 版)，將提送 TNSC 委員審查。
- 第一次會議召開：100 年 8 月 16 日 (星期二) 下午 14:30 ~ 16:30

假於工業技術研究院光復院區 6 館 202 會議室辦理

會議內容探討：A. 主席致詞及 ISO TC229 上半年會議 WG1 進展分享

B. CD1000001 的標準案 Enquiry Stage 後續進展討論 (ISO/TS 27687:2008 — Nanotechnologies — Terminology and definitions for nano-objects —Nanoparticle, nanofibre and nanoplate 中文化文件之修訂討論)

C. ISO/TS 80004-3:2010 — Nanotechnologies — Vocabulary — Part 3: Carbon nano-objects 中文化第 2 版討論

會議總結：A. 依據會議中的討論，完成 ISO/TS 27687:2008 — Nanotechnologies — Terminology and definitions for nano-objects —Nanoparticle, nanofibre and nanoplate 中文化文件修訂至第 11 版；完稿後送交工作組委員審閱定稿後，提送 TNSC 委員進行投票表決成 TNSC 之標準。(關於 TNSC 之標準文件化，其相關格式 封面 字體...等，由 TNSC 秘書處討論後決定)。

B. 將依據會議中之討論結果，完成 ISO/TS 80004-3:2010 — Nanotechnologies — Vocabulary — Part 3: Carbon nano-objects 中文化文件修訂至第 3 版，完稿後送交工作組委員審閱定稿後，提送 TNSC 進行相關標準提案工作。

C. ISO/IEC 80004 Nanotechnologies—Vocabulary series 共有 10 個部份，目前已有 3 份正式頒布(Part 1：Core terms, Part 2：Nanoparticle, nanofibre and nanoplate, Part 3：Carbon nano-objects)。另有 3 份即將頒布(Part 4：Nanostructured materials, Part 5：Nano/bio interface, Part 7：Diagnostics and therapeutics for healthcare)。

目前 TWA1 工作組已完成 Part 2、Part 3 之中文化，下一階段待取得 ISO 已發行與即將發行之原文版後(共 4 份)，進行中文化之翻譯。

- 第二次會議召開：100 年 9 月 29 日(四) 上午 10:00 ~ 12:00  
假於工業技術研究院光復院區 3 館 117 會議室辦理  
(台灣奈米標準技術諮議會(TNSC)奈米標準技術第一至第四工作組  
100 年度聯席)

會議內容探討：A. 主席致詞

B. 秘書處報告

C. TWA1-TWA4 近況報告(各召集人)

D. 討論議題

(一) Nano Labeling task force 建議與討論

(二) ISO-TC118 WG4 建議與討論

(三) 國內奈米標準需求建議與討論

會議總結：A. 在資訊分享方面各工作組以上網站流覽為主(因大家收發的 mail 量大，避免造成困擾)。相關資訊由 TNSC 秘書處進行彙整後，置放於 TNSC 網站上供 TNSC 委員與工作組專家參閱。

B. TNSC 建議工作組有二個主要工作。一為奈米標準與國際同步，一為如何讓 ISO 之資訊對產業界與學術研究有正面之影響。

C. 工作組可考量本土特色，例如 SiO<sub>2</sub>、Ag 等奈米材料及其應用。

## 2.TWA 2 部份

(1)奈米標準技術第二工作組(TWA 2)簡介：

- 成立宗旨：奈米標準之規劃、制訂與相關研究工作
- 奈米標準技術第二工作組任務：負責 Measurement and Characterization 技術  
規劃、制訂活動之辦理
- 成立奈米標準技術第二工作組成員共 9 位(不含秘書)，來自研究單位代表比例占 56%、  
學界單位代表比例占 22%及產業界代表比例占 22%。

第二工作組成員：

主席：彭國勝 組長(國家度量衡標準實驗室)		秘書：金瑞熙
第二工作組成員	單位代表	職稱
林仁輝	成功大學微奈米科技研究中心	中心主任
李紫原	清華大學奈微與材料科技中心	中心副主任
謝詠芬	閎康科技股份有限公司	總經理
林進祥	台灣積體電路製造股份有限公司 製造技術中心	處長
蕭銘華	財團法人國家實驗研究院儀器科技研 究中心 微奈米加工技術廠	廠長
馬振基	清華大學工學院分子工程學系	教授
陳朝榮	工業技術研究院量測技術發展中心 長度研究室	正工程師
傅尉恩	工業技術研究院量測技術發展中心 長度研究室	研究員
姚斌誠	工業技術研究院量測技術發展中心 主任室產業標準推動辦公室	研究員

(2)第二工作組活動與進度：

- 第一次會議召開：100年9月29日(四) 上午10:00~12:00  
假於工業技術研究院光復院區3館117會議室辦理  
(台灣奈米標準技術諮議會(TNSC)奈米標準技術第一至第四工作組  
100年度聯席)

會議內容探討：A. 主席致詞

B. 秘書處報告

C. TWA1-TWA4 近況報告(各召集人)

D. 討論議題

(一) Nano Labeling task force 建議與討論

(二) ISO-TC118 WG4 建議與討論

(三) 國內奈米標準需求建議與討論

會議總結：A. 在資訊分享方面各工作組以上網站流覽為主(因大家收發的 mail 量大，避免造成困擾)。相關資訊由 TNSC 秘書處進行彙整後，置放於 TNSC 網站上供 TNSC 委員與工作組專家參閱。

B. TNSC 建議工作組有二個主要工作。一為奈米標準與國際同步，一為如何讓 ISO 之資訊對產業界與學術研究有正面之影響。

C. 工作組可考量本土特色，例如 SiO<sub>2</sub>、Ag 等奈米材料及其應用。

### 3. TWA 3 部份

(1) 奈米標準技術第三工作組(TWA 3)簡介：

- 成立宗旨：奈米技術標準之規劃、制訂與相關研究工作
- 奈米標準技術第三工作組任務：負責 Health, Safety & Environmental issues  
技術規劃、制訂活動之辦理
- 成立奈米標準技術第三工作組成員共 11 位(不含秘書)，來自研究單位代表比例占 28%、  
學界單位代表比例占 36%及政府主管機關代表比例占 36%。

第三工作組成員：

主席：楊重熙 主任(國家衛生研究院 奈米醫學中心)		秘書：黃煌琦
第三工作組成員	單位代表	職稱
陳秋蓉	勞工安全衛生研究所	副所長
劉宗勇	行政院環境保護署永續發展室	執行秘書
蔡春進	國立交通大學環境工程研究所	教授
王德原	行政院衛生署藥物食品檢驗局 第二組三科	科長
林雲漢	行政院衛生署科技發展組	博士
廖寶琦	成功大學微奈米科技研究中心	教授
周志輝	國立中興大學食品暨應用生物科技學系	教授
鄭慧文	台北醫學大學藥學系	教授
賴惠敏	工業技術研究院生技與醫藥研究所 中草藥技術組	計畫經理
陳朝榮	工業技術研究院量測技術發展中心 長度研究室	正工程師

(2) 第三工作組活動與進度：

- 第一次會議召開：100 年 9 月 29 日(四) 上午 10:00 ~ 12:00  
假於工業技術研究院光復院區 3 館 117 會議室辦理  
(台灣奈米標準技術諮議會(TNSC)奈米標準技術第一至第四工作組  
100 年度聯席)

會議內容探討：A. 主席致詞

B. 秘書處報告

C. TWA1-TWA4 近況報告(各召集人)

D. 討論議題

(一) Nano Labeling task force 建議與討論



(二) ISO-TC118 WG4 建議與討論

(三) 國內奈米標準需求建議與討論

- 會議總結：A. 在資訊分享方面各工作組以上網站流覽為主(因大家收發的 mail 量大，避免造成困擾)。相關資訊由 TNSC 秘書處進行彙整後，置放於 TNSC 網站上供 TNSC 委員與工作組專家參閱。
- B. TNSC 建議工作組有二個主要工作。一為奈米標準與國際同步，一為如何讓 ISO 之資訊對產業界與學術研究有正面之影響。
- C. 工作組可考量本土特色，例如 SiO<sub>2</sub>、Ag 等奈米材料及其應用。

#### 4. TWA 4 部份

(1)奈米標準技術第四工作組(TWA 4)簡介：

- 成立宗旨：奈米材料規格標準之規劃、制訂與相關研究工作
- 奈米標準技術第四工作組任務：負責 Material Specifications 技術  
規劃、標準制訂活動之辦理
- 奈米標準技術第四工作組成員目前有 6 位(不含秘書)，來自研究單位代表比例占 33%、  
學界單位代表比例占 67%。

第四工作組成員：

主席：林唯芳(國立台灣大學高分子科學與工程學研究所)		秘書：金瑞熙
第四工作組成員	單位代表	職稱
蔡豐羽	國立台灣大學材料系	教授
游萃蓉	國立清華大學材料系	教授
洪銘輝	國立清華大學材料系	教授
陳哲陽	工研院材化所	組長
林麗娟	工研院材化所	研究員

(2)第四工作組活動與進度：

- 第一次會議召開：100 年 9 月 29 日(四) 上午 10:00 ~ 12:00  
假於工業技術研究院光復院區 3 館 117 會議室辦理  
(台灣奈米標準技術諮議會(TNSC)奈米標準技術第一至第四工作組  
100 年度聯席)

會議內容探討：A. 主席致詞

B. 秘書處報告

C. TWA1-TWA4 近況報告(各召集人)

D. 討論議題

- (一) Nano Labeling task force 建議與討論
- (二) ISO-TC118 WG4 建議與討論
- (三) 國內奈米標準需求建議與討論

會議總結： A.在資訊分享方面各工作組以上網站流覽為主(因大家收發的 mail 量大，避免造成困擾)。相關資訊由 TNSC 秘書處進行彙整後，置放於 TNSC 網站上供 TNSC 委員與工作組專家參閱。

B. TNSC 建議工作組有二個主要工作。一為奈米標準與國際同步，一為如何讓 ISO 之資訊對產業界與學術研究有正面之影響。

C. 工作組可考量本土特色，例如 SiO<sub>2</sub>、Ag 等奈米材料及其應用。

台灣奈米標準技術諮議會(TNSC)奈米標準技術第一至第四工作組 100 年度聯席照片：



圖 1-1 奈米標準技術第一至第四工作組 100 年度聯席照片

(二)規劃向 ISO 或 IEC 或 VAMAS 提案項目。

目前已有一項 IEC TC 113 WG3 新工作提案：

Preliminary Working Item(PWI)提案 ” General quality assessment for nano-electrotechnical products ”，已獲投票成案(編號: PT113-111，主持人: 工研院量測中心 姚斌誠)，後續將與國內外專家討論內容，希望內容能滿足國內奈米標章及一般奈米產品的檢驗需求，目前進度為工作草案階段(WD)，預計明年進入委員會草案階段(CD)，下表為申請提案文件大綱。

1	Scope .....	4
2	Normative references .....	4
3	Terms and Definitions .....	4
3.1	nanoscale .....	4
3.2	nanomaterial .....	4
3.3	nano-object .....	4
3.4	Nanostructured materials .....	4
3.5	Nanoparticle.....	4
3.6	Nanoplate .....	4
3.7	Nanofibre .....	5
3.8	House of Quality (HOQ) .....	5
4	Quality assessment model .....	5
4.1	Quality Requirements Analysis.....	6
4.2	Quality priority analysis (house of quality tool) .....	6
4.3	Quality benchmark table.....	6
5	Methodology of quality assessment.....	7
5.1	Hierarchy of Characteristics, Attributes and Metrics .....	8
5.2	Customer's attributes .....	8
5.3	Technical attributes.....	9
5.4	Generating quality benchmark table .....	10
6	Case study.....	11
	Annex A (Informative).....	14
	A.1 House of Quality .....	14

(三)重點參加 ISO/IEC/VAMAS/ANF 之 TC 相關會議，國際奈米相關標準文件資料之蒐集整理，更新國際奈米相關標準之發展資訊、徵詢國內對發展中提案意見、並依各個國際標準組織規定的流程對提案作意見陳述或修改提案內容。

協調專家參加 ISO TC 229、IEC TC 113、VAMAS 國際奈米標準會議共 11 人次，參與約 50 項標準草案的討論與意見陳述或修改提案內容。

在 ISO TC229 之進展上，除了會員外，共有 27 個 internal liaisons 和 9 個 external liaisons 加入，自 2005 年 TC 229 成立以來已有 32 個 active projects，15 個計畫出版，後續每年出版的數目應該會增加，目前 ISO TC 229 的標準可能還是專注在原料端，至於要如何在產品面與其它 TCs 合作，還需時間來釐清。

(四)奈米標準文件制定

目前有四個正式提案(一為 IEC TC 113 WG3 提案，已在(二)說明，三為 TNSC 提案)，IEC TC 113 WG3 的提案正在草擬第一版之草案。

TNSC 提案一(編號:WI 1000001)目前草案已修改 12 次，為委員會草案階段(enquiry stage draft)

提案題目	ISO Terminology-Nano-objects 中文化		編號	WI 1000001
TWA 組別	第一工作組		日期	98.9.1
提案單位/提案人	工研院奈米中心/蘇宗察			
提案內容	擬制定標準之主旨	與 ISO 奈米術語接軌		
	擬制定標準之目的用途 (提供何者單位/機構/產業使用)	提供奈米相關之產學研政單位統一詞彙		
	擬制定標準之適用範圍	奈米科技相關之詞彙		
	擬制定標準之內容概述	奈米體的詞彙與定義 -- 奈米微粒、奈米纖維和奈米板		

TNSC 提案二(編號:WI 1000002)目前草案已修改 5 次，為工作草案階段(CD: committee draft)

提案題目	Nanotechnologies — Vocabulary — Part 3: Carbon nano-objects 中文化		編號	WI 1000002
TWA 組別	第一工作組		日期	99.10.29
提案單位/提案人	工研院奈米中心/蘇宗察			
提案內容	擬制定標準之主旨	與 ISO 奈米術語接軌		
	擬制定標準之目的用途 (提供何者單位/機構/產業使用)	提供奈米相關之產學研政單位統一詞彙		
	擬制定標準之適用範圍	奈米科技相關之詞彙		
	擬制定標準之內容概述	碳奈米體的詞彙與定義		

TNSC 提案三(編號: DTNS10002001)目前為 TNSC 標準(已完成最後階段投票)

# 台灣奈米標準技術諮議會標準文件

## TNSC Standards

---

奈米產品：表面粒子尺度測定法—  
掃描式電子顯微鏡

**NANOPRODUCT: METHOD OF DIMENSIONAL  
MEASUREMENT OF NANOPARTICLES ON SURFACE—  
SCANNING ELECTRON MICROSCOPE**

---

TNSC  
DTNS10002001  
First edition  
2011-08-18



### 【效益與影響】

奈米產品是新興科技產業，但現今國內外均缺乏相關標準。在全球化經濟的影響下，標準不只是研發生產製造檢驗之依據，也是經貿之採購及驗收依據，它關係著產品的安全、健康環保，所以在相關產業之生產檢驗、經貿及產品安全等檢驗關卡顯得格外重要。

為提升國內奈米相關產業的國際競爭力，奈米標準技術諮議會正可作為與國際標準協調的平台，讓標準的訂定與國際同步。支持國內積極發展奈米技術相關標準，建構資

訊分享與交流平台，整合各界意見、凝聚共識，促進國內奈米產業加速發展。

目前奈米國家型科技計畫已進入第二期，會以奈米技術於各產業領域之應用為主，再加上國內最新奈米技術的發展，無論在前瞻研究、產品研發、奈米檢測技術、奈米標章驗證等均達國際尖端水準，所以標準的制訂對奈米產業發展至關重要。奈米標準技術諮議會成立後，更可為國內外的奈米標準提供更多貢獻及指導。

#### 【執行中突破之困難】

台灣儘管在產品研發、製造能力深具優勢，但因非聯合國會員，無法藉由參與國際標準組織（ISO）、國際電工委員會（IEC）等國際性標準組織活動，主導相關國際標準制定，連帶影響國內業者商機。台灣目前為亞太奈米聯盟（ANF）15 個會員經濟體之一；依國際性標準組織架構機制與運作方式，可藉由在國內成立的工作小組，透過 ANF 向 ISO、IEC 提案、提供意見、提供技術內容等方式，參與、影響對台有利的國際標準制定。目前已成為 ISO TC 229 category A liaison 及 IEC TC 113 WG3 category D liaison 會員，可參與第一手標準討論，並有機會加入某些提案的制定小組。

#### 【後續工作構想及重點】

由於國際標準組織（ISO、IEC），以及其他先進國家如美、英、日、中國、以色列等均有標準制訂委員會等機構，並積極制訂奈米相關標準。因此奈米標準技術諮議會之成立及運作，將參考國際標準組織模式，屬於任務型之委員會，負責規劃與審定奈米相關標準的制訂；另一方面，也作為國際標準組織 ISO / TC 229 及國際電工委員會 IEC / TC 113 等奈米國際標準技術委員會所對應的國內委員會，除持續現有之標準制訂計畫，並持續協助制訂相關國際標準。奈米標準的制訂將參照國內外需求，由國內專家學者組成技術工作組，起草制訂相關奈米標準。分別研擬奈米相關名詞的定義、產品功效、計量特性、健康安全環境及原料特性等標準。

#### 四、成果與推廣

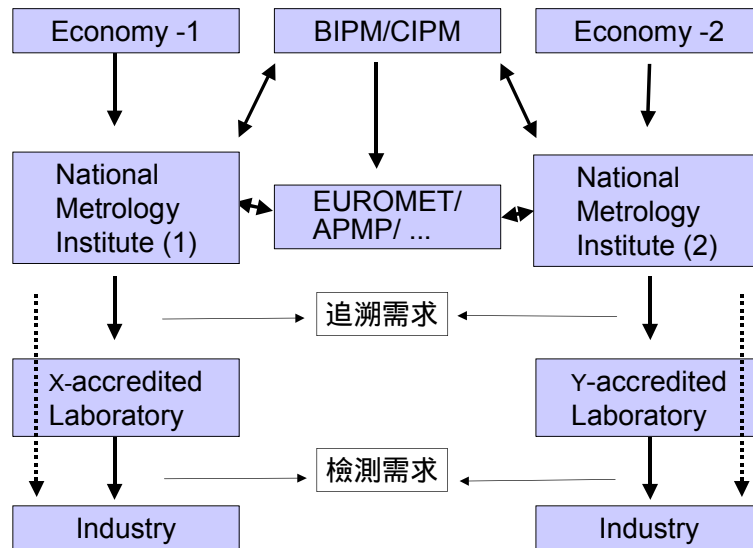
##### 1.年度量化成果

項目		目標值【實際值】			
		奈米粒子/ 線之尺寸 形貌與功 能性量測 標準追溯 分項	薄膜結構 與特性量 測標準追 溯分項	奈米國 際量測 與產品 標準推 動	小計
專利	申請	1【0】件	1【2】件	0【0】件	2【2】件
	獲得	-【0】件	-【1】件	-【0】件	-【1】件
論文	國內期刊	2【1】篇	2【1】篇	0【0】篇	4【2】篇
	國內研討會	3【1】篇	7【4】篇	1【0】篇	11【5】篇
	國外期刊	1【3*】篇 (*含3篇SCI)	2【5*】篇 (*含5篇SCI)	0【0】篇	3【8*】篇 (*含8篇SCI)
	國外研討會	2【1】篇	4【8】篇	0【0】篇	6【9】篇
研究報告	技術	3【4】篇	5【7】篇	0【0】篇	8【11】篇
	訓練	2【2】篇	4【4】篇	2【2】篇	8【8】篇
學術 成就	研究團隊	跨團隊研究(清大、成大、中興、材化所、機械所與量測中心)。			
	博碩士培訓	清大、中興、台科大等共有 9 位博碩士參與計畫。			
	辦理學術活動	辦理國內研討會 2 場；論壇 2 場。			
技術 創新	技術移轉	技轉東海大學、五鈴光學二案，共 251.406 千元(不含稅)。			
經濟效 益	共通/檢測技術服務	提供產學研校正服務 262 件，金額達 2,688 千元(由 NML 計畫統一繳交國庫)。			
社會影 響	資訊服務	接待參觀實驗室 89 人次。			

## 2.推廣

國家標準實驗室服務業界是藉由標準量值之層層傳遞，間接服務各產業所需，欲直接彰顯其產業效益實屬不易。如圖所示，為能使標準層層傳遞，落實奈米標準量測之追溯，除藉由標準系統校正服務外，本中心因有著標準計量技術及規範之知能，亦協助工研院奈米中心檢測實驗室實驗室認證、辦理 APEC 相關活動辦理，協助工業局奈米標章檢測規範及認證體制之建立，雖不在本計畫之資源下執行，亦非國家標準實驗室之首要任務，但其目的在於完備追溯體系，使標準能順利往下傳遞，期能對國家產業有所助益。

推廣情形如下說明：



### (1) 技術移轉：

- 1-1 東海大學 - 奈米機械性質量測技術於蜘蛛絲黏性量測授權運用 (授權金 114.286 千元)
- 1-2 五鈴 - 奈米級標準片製作與檢測技術專利運用(授權金 137.12 千元)

### (2) 舉辦技術研討會/論壇/參展/說明會

- 2-1 0414 舉辦「奈米粒徑量測國際研討會」，共有 24 家廠商；71 人次參加。
- 2-2 0629 辦理奈米粉體粒徑與奈米薄膜量測技術研討會，共有 16 家廠商；45 人次參加。
- 2-3 0602 舉辦「奈米粒子檢測標準帶動產業發展論壇」。
- 2-4 1019 舉辦「奈米薄膜檢測標準技術論壇」。



2-5 1005-1007 於台北世貿，參展 2011 台灣奈米科技展，展場三個單位之展區空間，展出奈米粒徑量測方法及奈米計量標準對 7EHS 影響之相關內容，展出方式有看板、影音及標準粒子樣本。

2-6 0928 舉辦「2012 國內奈米粒徑比對說明會」。

(3) 舉辦 2011-2012 各國家實驗室間之粒徑量測比對活動

A. 背景：2010.11 APMP-TCL 與 WGMM 大會，決議由國家度量衡標準實驗室，擔任國際奈米粒子比對(APMP TCL / WGMM Supplementary comparison on Nanoparticle Size)之 Pilot Lab NMIJ 擔任 Co-pilot Lab。

B. 重要性：為各國國家實驗室間，首次針對奈米粒徑量測標準進行比對，有助於國際奈米粒子量測標準的相互調和一致，致使應用於生醫製藥、太陽能電池、電子產品等產品之品質管控、效益提升及環境健康安全的評估。

C. 國際比對籌備會：

(a) 籌備討論會時間：100.4.15

(b) 參與討論國際專家：

- APMP TCL 主席 Ms. Siew Leng Tan

- APMP WGMM 主席 Dr. Cho

- 韓 KRISS Dr. Kim

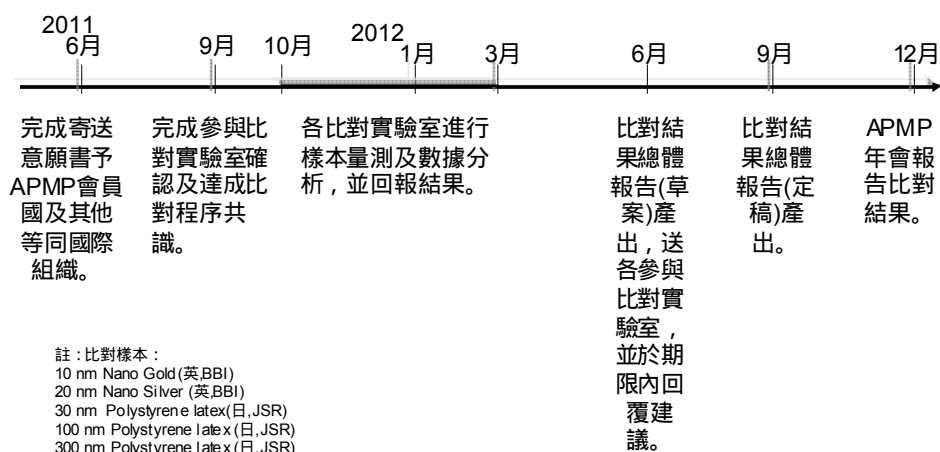
- 日 NMIJ Dr. Takatsuji (APMP TCL Vice Chair) 及 3 位 NMIJ 奈米粒子量測專家

- 德 PTB Mr. Tobias Klein

- 澳 CSIRO Dr. Asa Jamting

(c) 討論比對程序內容：比對中奈米粒子樣本的製備、量測程序方法、量測數據分析、量測不確定度影響因子。

#### D. 比對時程：



#### E. 參與比對國家實驗室：

Laboratory	Contact Person	Instrument
CENAM	SALAS, ANTONIO	SEM
CENAM	SALAS, ANTONIO	SPM
CENAM	SALAS, ANTONIO	DLS
DFM	Dirscherl, Kai	AFM
ITRI/CMS	Weng, Han-Fu	DLS
ITRI/CMS	Weng, Han-Fu	SEM
ITRI/CMS	Weng, Han-Fu	AFM
ITRI/CMS	Weng, Han-Fu	DMA
INRIM	Picotto, Gian Bartolo	SEM
INRIM	Enrico Emanuele	AFM
KRISS	KIM, Chang Soo	TEM
KRISS	KIM, Chang Soo	DLS
KRISS	KIM, Chang Soo	DMA
LNE	Motzkus, Charles	DMA
METAS	Felix, Meli	AFM
NIM	Sitian, GAO	DLS
NMIA	Herrmann, Jan	TEM
NMIA	Herrmann, Jan	AFM
NMIA	Herrmann, Jan	DLS
NMIJ	Misumi, Ichiko	AFM
NMIJ	Takahata, Keiji	DMA
NMIJ	Takahashi, Kayori	DLS
NMIJ	Sugawara, Kentaro	SEM
PTB	Klein, Tobias	TSEM

Laboratory	Contact Person	Instrument
PTB	Bosse, Harald	SPM
PTB	Krumrey, Michael	SAXS

(4) 輔導台大奈米實驗室參與國際比對活動：

A. 比對項目：比表面積

VAMAS Interlab Study，為多孔性 TiO<sub>2</sub> 的 BET 比表面積試驗，樣品為 SRM 1898。

B. 比對活動敘述（包括時間、參與單位、比對流程等）：

比對執行期間為 2009 至 2010 年，主辦單位為 NIST，計劃執行在 VAMAS 工作小組 34( Nanoparticle Populations)。

參與實驗室如下：

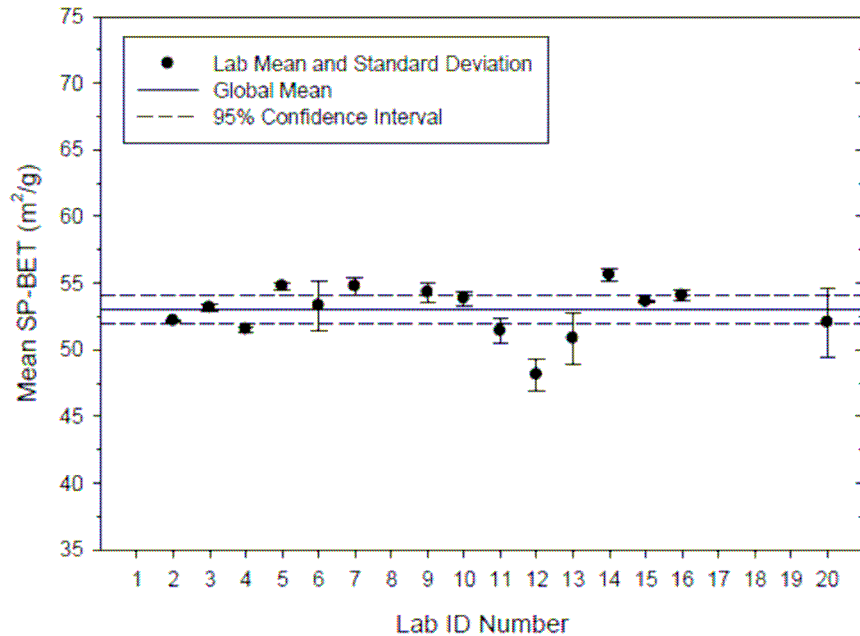
1. AAIPharma, USA (Bob Whittle)
2. BEL Japan Inc., Japan (Masayuki Yoshida) M
3. Delta Analytical Instruments, Inc., USA (Michael Riley)
4. Dupont, USA (Rick Maynard)
5. Environmental Protection Agency, National Risk Management Research Laboratory, USA (Chris Impellitteri)
6. Federal Institute for Materials Research and Testing (BAM), Germany (Peter Klobes)
7. Food and Drug Administration, National Center for Toxicological Research, Center for Phototoxicology, USA (Paul Howard)
8. Hiden Isochema, UK (Mark Roper) M
9. Horiba Instruments Inc., USA (Amy Hou) M
10. Industrial Technology Research Institute, Center for Measurement Standards, Taiwan – measurements conducted at Particulate Technology Laboratory, TLIRI, National Taiwan University (Ta-Chang Yu) V
11. Korea Research Institute of Standards and Science, Republic of Korea (Byung Il Choi)
12. Micromeritics Instrument Corporation, USA (Jeff Kenvin) M
13. National Institute for Occupational Safety and Health, USA (Aleksandr Stefaniak)
14. National Institute for Occupational Safety and Health, USA (Mike Keane)
15. National Institute of Standards and Technology, Engineering Laboratory, USA (Chiara F. Ferraris/Max Peltz)
16. National Physical Laboratory, UK (Richard Gilham) V
17. Quantachrome Corporation, USA (Riaz Ahmad) M
18. University of Cincinnati, USA (Hafiz Salih)

19. University of Iowa, Department of Chemistry, USA (Vicki H. Grassian)

20. University of Massachusetts - Lowell, USA (Dan Schmidt)

C.比對結果：

比對結果如下圖所示。實驗室編號為 2。量測結果在同儕間顯得相當的亮眼，可說是 20 家實驗室中最佳的。



比表面積比對結果，ID 為 2。

(5) 計畫迄今新擴建的 10 套國家標準量測系統：角度校正系統-大角度校正系統(D07)、角度校正系統-小角度校正系統(D08)、階高校正系統(D21)、奈米薄膜量測系統 (D22)、奈米壓痕量測系統(N10)、力量比較校正系統(四)(N11)、奈米粒徑量測系統(D26)、微流量量測系統(F11)、晶圓表面奈米微粒粒徑校正系統(D27)、掃描式電子顯微量測系統(D28)，FY100 共提供 262 件的服務、收入 2,688 仟元，共由 NML 計畫統一繳庫。

廠商包括：三陽工業、三聯科技、科治新技、太一電子檢測、台灣山葉機車、日月光半導體、原形精密儀器、台灣電子檢驗中心、華新麗華 LED 光電事業處、奇美電子、晶元光電股、台灣永光化學、台灣凸版國際彩光、量測科技、晶元光電、國家實驗研究院國家奈米元件實驗室、聯華電子、南亞科技、明興光電、采鈺科技、瀚宇彩晶、南亞塑膠、尚偉、巨研科技、成大、清大、大同 等等。

## 陸、結論與建議

### 一、奈米粒子/線之尺寸形貌與功能性量測標準追溯分項計畫

### (一)奈米粒子形貌與分佈量測標準技術及奈米粒子參考物質建立

國家度量衡標準實驗室在奈米粒子計量標準研究中，已陸續建立動態光散射法、微分電移動度分析法、電重力氣膠平衡法與掃描式電子顯微量測系統等四套奈米粒徑量測系統。其中三套儀器均是假設粒子是圓球狀的特性來量測奈米粒子的直徑，有鑑於產業所大量生產的奈米材料並非全是圓球狀，除量測其粒徑外，也有必要瞭解其形貌，本計畫於 FY98 購買場發射環境掃描式電子顯微鏡，可量測各種形狀的奈米粒子及所量得尺寸，FY99 派員至美國 NIST 研習 SEM 相關量測技術，於本年度完成量測系統評估，使 SEM 量測結果能追溯到 SI 單位的公尺定義，並與微分電移動分析法及動態光散射法，用於研究奈米粒子的等效粒徑。同時研究 ISO TC 229 所建議的 8 個奈米粒子量測參數：Physical state of Material (agglomeration/aggregation)、Chemical composition、Size/distribution、Shape、Solubility/Dispersibility、Surface Charge、Surface Area、Surface chemistry 等。

從奈米材料被研究出來及應用於工業產品或民生產品後，大家就開始擔心對環境及人體的安全危害，有關奈米材料毒性、環境安全衛生等研究是大眾關心的議題，國際標準組織 ISO 的奈米技術諮議會 TC 229、OECD(Organization for Economic Co-operation and Development)及各國勞工安全衛生組織(如美國 National Institute for Occupational Safety and Health, NIOSH)都認為奈米材料驗證參考物質對奈米技術的研究發展及環境安全衛生相關研究非常重要，國際上量測標準相關機構如凡爾賽先進材料與標準計畫會議 VAMAS(Versailles Project on Advanced Materials and Standards)、歐盟參考物質與量測研究所 IRMM (Institute for Reference Materials and Measurements)、美國 NIST 等開始製備各種奈米材料驗證參考物質及舉辦奈米材料的國際比對。本計畫已於 FY98 完成 100 nm 至 500 nm 的聚苯乙烯球研製，亦於今年開始研製國內產業所需的奈米粒子驗證參考物質，包括奈米銀粒子及奈米二氧化矽粒子的製程技術，預訂 FY101 依 ISO Guide 34，開始進行研究驗證流程，及舉辦奈米粒子量測國際比對，期能滿足國內奈米標章及奈米技術應用產業的標準追溯需求及達成奈米粒子量測標準的國際一致性。

### (二)奈米粒子/線功能性量測標準技術建立

當系統或零組件的尺寸逐漸趨近奈米等級時，材料的物理特性或是結構的機械特性都將與其在巨觀結構時大不相同，因此奈米微觀力學(Nanomechanics)、奈米磨潤學(Nanotribology)等微觀材料物性與機械性質

的量測分析研究，也變為愈來愈重要。奈米微力標準的建立，就是要提供微觀力學研究中，微小力量的標準追溯。此微力標準量測技術結合了微小力量量測、驅動技術與標準追溯方法。其應用範圍將包含微/奈米材料或結構測試中，所有與力量相關之測量。例如：薄膜硬度量測、微/奈米結構之楊氏模數(Young's modulus)量測、微/奈米結構之塑性(plasticity)量測、微懸臂樑之力常數(the force constant of cantilever)量測等。在微力量測技術研究上，今年 FY100 的所完成之計畫目標為微力機構靜電力追溯，及 10  $\mu$ N 靜電力與 1 mg 法碼重量之力平衡實驗。目前國際標準組織 ISO 在微力標準化之相關活動，為探針之正向力常數量測(Surface chemical analysis — Scanning-probe microscopy – Determination of cantilever normal spring constants) [1-13]，負責之工作小組為 ISO TC 201/SC9/WG5，目前之狀態為“Under development”。而現階段之微力國際比對重點，主要也是因應上述未來標準之制定而架構在微懸臂樑之力常數量測上[1-14]。為了日後微力國際比對之參與，本計劃也將於明年 FY101 以此靜電力平衡微力機構，用於微懸臂樑力常數之量測，並與前期奈米計畫中所發展之微量天平式探針剛性量測機構，進行探針剛性比對實驗，研究以微懸臂樑作為微力傳遞標準之可行性，並對加入未來微力國際比對預作準備。

## 二、薄膜結構與特性量測標準追溯分項計畫

### (一)薄膜結構參數量測標準及參考物質量測技術建立

包括了單一線寬之垂直剖面(Cross-Section)之 LER/LWR 量測技術研究，完成建立 LER/LWR(Cross-Section)量測技術，並進行量測方程式、主要不確定度源與最佳量測能力分析，其最佳量測能力為 2.54 nm ( $k = 2.57$ ,  $W=50$  nm，待測件均一性之一倍標準差為 0.96 nm)。將來延續應用此 LER/LWR 量測與不確定度評估技術，用於建立關鑑參數-線寬量測系統。

### (二)薄膜表面特徵量測標準技術建立

包括晶圓表面散射光量測系統系統查驗與晶圓表面奈米微粒分佈量測研究。採用標稱值分別 100 nm、200 nm 與 300 nm 之晶圓表面聚苯乙烯粒子(經 DMA 系統校正與追溯)做為系統不確定度評估之樣品。結果顯示，在 95%的信賴水準，涵蓋因子為 1.99 之下，100 nm 至 200 nm 的範圍中，擴充不確定度為 8.1 nm；200 nm 至 300 nm 的範圍中，擴充不確定度為 19 nm。量測不確定度的分析，則依粒徑大小不同，以 200 nm 為分界來分段評估，分段越細則不確定度越小。

要提昇空間解析度與粒徑解析度，必須置換短波長雷射光源和相關鏡組、升級成自動化量測系統，以量測到更小的奈米微粒粒徑(< 20 nm)，並重新設計聚焦鏡組，縮小雷射光點大小，以達到數十 $\mu\text{m}$ 之分佈量測空間解析度。

### (三)奈米薄膜機電特性與化學性質量測標準技術建立

薄膜機械性質量測中，常見待測薄膜的種類與量測技術所能應用的功能無法配合。雖然，奈米拉伸與奈米壓痕量測系統為現今常用量測技術，但由於所需求的機械性質與各類薄膜材料須相互搭配，導致無法統一由單一量測系統來進行檢測薄膜材料行為，不同量測方式的歸一化(Normalized)為未來需加以探討的。另外，材料計量領域為目前較新的研究議題，亦受到各國計量單位逐漸重視。故在未來研究上，除依循國際規範達成量測系統穩定與追溯性外，並配合參與國際的比對活動，及進一步修訂符合國內量測標準的規範制定，用以落實於產業面的應用與提昇國家實驗室的技術水準。

## 三、奈米國際量測與產品標準推動分項計畫

今年在標準制訂上已有實質的進展，未來我國奈米標準的制訂，將持續現有的計畫，完成標準制定，並加強參照國內外需求，由國內專家學者組成之技術工作組，持續起草制訂相關奈米標準，並藉諮議會作為與國際標準協調平台的運作，讓奈米標準的訂定與國際同步，同時讓台灣新興的奈米產品與科技產業獲得通行全球的保證。奈米標準技術諮議會正可作為與國際標準協調的平台，讓標準的訂定與國際同步；同時積極加強奈米技術相關標準之資訊分享與交流平台，整合各界意見、凝聚共識，促進國內奈米產業加速發展。除推動國際一流水準的奈米標準，俾便對於奈米技術商品化過程中的每一個階段，能真實地理解與掌握製造過程，確保產品品質，更進一步地，溝通調和國際標準，增進環境、健康與安全等風險評估，藉由具公信力的量測數據，消釋大眾對於奈米產品功效與安全疑慮，從而促進奈米技術的蓬勃發展與商品化。

# 附 件

附件一、新台幣參百萬以上儀器設備清單.....	127
附件二、國外出差人員一覽表.....	127
附件三、專利成果統計一覽表.....	129
附件四、論文一覽表.....	130
附件五、研究報告一覽表.....	135
附件六、研討會/成果發表會/說明會一覽表.....	137
附件七、研究成果統計表.....	138
附件八、中英文對照表.....	139
附件九、參考文獻索引.....	142
附件十、期末報告委員審查意見回覆.....	145
附件十一、FY100 審查暨驗收會議記錄回覆.....	150





附件一、 新台幣參百萬元以上儀器設備清單

單位:新臺幣仟元

儀器設備名稱	主要功能規格	預算數	單價	數量	總價	計畫執行中之功能
無						

附件二、 國外出差人員一覽表

短期訓練

出差性質	主要內容	出差機構/ 國家	期間	參加人員姓名	在本計畫擔任之工作	對本計畫之助益	計畫書項次
發表論文	參加 International Symposium on Measurement Technology and Intelligent Instruments 會議發表論文及參訪 KRISS	韓	100.6.28-100.7.5	陳國棟	奈米粒子形貌與分佈量測標準技術及奈米粒子參考物質建立計畫成員	蒐集國際研究進度，並發表國際論文，增加國際能見度。	1
發表論文	參加2011-APMF 會議發表論文	大陸	100.9.18-100.9.23	潘小晞	奈米粒子/線功能性量測標準技術建立計畫主持人	蒐集國際研究進度，並發表國際論文，增加國際能見度。	2
發表論文	參加研討會 -2011 Frontiers of Characterization and Metrology for Nanoelectronics(FCMN)發表論文及拜訪德國 PTB	德/法	100.5.18-100.5.29	張詠晴	薄膜表面特徵之偏振散射光量測技術計畫成員	蒐集國際研究進度，並發表國際論文，增加國際能見度。	3
發表論文	參加第 24 屆國際微製程與奈米科技研	日本	100.10.23-100.10.29	吳忠霖	薄膜機電特性與化學性	蒐集國際研究進度，並發表國際論文，增加國際能	4

出差性質	主要內容	出差機構/國家	期間	參加人員姓名	在本計畫擔任之工作	對本計畫之助益	計畫書項次
	討會(MNC 2011)發表論文。並訪問京都大學奈米與微系統實驗室				質量測標準技術建立子計畫主持人	見度。	
發表論文	參加 IEEE NANO 2011 Conference 發表論文	美	100.8.15-100.8.18	張詠晴	薄膜表面特徵之偏振散射光量測技術計畫成員	蒐集國際研究進度，並發表國際論文，增加國際能見度。	5
參加會議	參加 IEC TC 113 WG3 會議	義大利	100.5.8-100.5.12	姚斌誠	分項計畫主人	參與國際標準活動，收集奈米標準發展資料。	6
參加會議	ISO TC 229 WG2 及 TC 會議	俄羅斯聯邦	100.5.13-100.5.22	姚斌誠	分項計畫主人	參與國際標準活動，收集奈米標準發展資料。	7
參加會議	出席 VAMAS SC36 會議	巴西	100.5.8-100.5.15	張啟生	總計畫主持人	參與國際標準活動，收集奈米標準發展資料。	8
參加會議	參加 IEC TC 113 WG3 會議	大陸	100.11.7-100.11.12	姚斌誠	分項計畫主人	參與國際標準活動，收集奈米標準發展資料。	9
參加會議	ISO TC 229 WG2 及 TC 會議	南非	100.11.13-100.11.20	姚斌誠	分項計畫主人	參與國際標準活動，收集奈米標準發展資料。	10

☑長期訓練

項次	出差性質	主要內容	出差機構/國家	期間	參加人員姓名	在本計畫擔任之工作	對本計畫之助益
1	客座研究	Institute of Standards and Technology(NIST)從事三個月客座研究。題目為「X-ray Porosimetry」。	美國	100.6.13-100.9.21	張詠晴	薄膜表面特徵之偏振散射光量測技術計畫成員	透過客座研究可加速國內技術升級速率，有效學習國際之最新技術發展。

### 附件三、專利成果統計一覽表

專利獲證：本年度獲證 1 件

類別	專利名稱	申請日期	獲証日	專利申請國	申請案號/專利號碼	申請人	所屬分項
發明	光學式奈米壓痕量測裝置及方法	20080828	20110824	美國	12/230,340/7845214	徐炯勛、林以青、吳忠霖、陳生瑞	薄膜

專利申請：本年度申請專利 2 件

類別	專利名稱	申請日期	專利申請國	申請案號	申請人	所屬分項
發明	試片及其製作方法	20110325	中華民國	100110439	遲雅各、曾信雄、方彥理、林以青	薄膜
發明	物件特性量測系統	20110928	中華民國	100135073	劉子安	薄膜

附件四、論文一覽表

論文名稱	發表日期	期刊/會議	作者	分類	頁數	國家	所屬分項
大尺度低溫重力波干涉儀介紹	2010/06/29	Class. Quantum Grav	潘小晞、陳生瑞	國外期刊 (SCI)	10	英國	粒子分項
Absorptive and Conductive Cavity Cathode with Silver Nanoparticles for Low-reflection Organic Light-emitting Devices	2011/02/17	Journal of Physics D: Applied Physics	邱天隆、何信佳	國外期刊 (SCI)	6	美國	粒子分項
A Force Measurement System Based on an Electrostatic Sensing and Actuating Technique for Calibrating force in a Micronewton Range with a Resolution of Nanonewton Scale	2011/03/15	Measurement Science and Technology	陳生瑞、潘小晞	國外期刊 (SCI)	8	英國	粒子分項
應用 FPGA 及時控制及對稱橋型機構於奈米定位平台研製	2011/07/01	先進工程學刊	陳朝榮、吳忠倫、芳仲、劉科震	國內雜誌	7	中華民國	粒子分項
利用多元醇方式於液相中合成銀奈米粒子	2011/09/06	奈米工程暨微系統技術研討會	陳國棟、賴識翔	國內研討會	5	中華民國	粒子分項
The Microforce-Sensor Calibrated with Precision Balance in CMS	2011/09/20	Proceedings of Asia-Pacific Symposium on Mass, Force and	潘小晞、林以青、陳生瑞	國外研討會	6	中華民國	粒子分項

論文名稱	發表日期	期刊/會議	作者	分類	頁數	國家	所屬分項
		Torque					
Surface Characterization and Nanomechanical Properties of Diamond-Like Carbon Films Synthesized by RF Plasma Enhanced Chemical Vapor Deposition	2011/05/31	Thin solid films	遲雅各、吳忠霖、吳國真、曾信雄	國外期刊 (SCI)	4	新加坡	薄膜分項
Effect of Multi-Walled Carbon Nanotubes Addition on Mechanical Properties of Polymer Composites Laminate	2011/03/01	Polymers and Polymer Composites	吳忠霖、葉明泉、林亦杰	國外期刊 (SCI)	10	英國	薄膜分項
Layer Structure Variations of Ultra-Thin HfO <sub>2</sub> Films Induced by Post-Deposition Annealing	2011/03/24	Applied Surface Science	傅尉恩、張詠晴	國外期刊 (SCI)	7	美國	薄膜分項
Nanoscale Surface Roughness Characterization by Full Field Polarized Light-Scattering	2011/01/15	Optics and Lasers in Engineering	傅尉恩、林增耀、張啟生、劉承揚	國外期刊 (SCI)	7	美國	薄膜分項
Grating Pitch Measurement Beyond the Diffraction Limit with Modified Laser Diffractometry	2011/06/20	Japanese Journal of Applied Physics	潘善鵬、劉惠中、呂宗熙、蔡明俊	國外期刊 (SCI)	4	日本	薄膜分項

論文名稱	發表日期	期刊/會議	作者	分類	頁數	國家	所屬分項
非接觸、非破壞式之超高頻奈米薄膜光電特性檢測系統	2011/07/01	量測資訊	劉子安、劉辰岫、張詠晴、傅尉恩	國內雜誌	5	中華民國	薄膜分項
沉積時間與爐冷製程對甲烷混合氫氣之電漿沉積類鑽碳膜的影響	2010/11/20	中國材料科學學會年會	遲雅各、林以青、曾信雄、胡宇光	國內研討會	4	中華民國	薄膜分項
奈米級 CD 線寬形貌量測技術研究	2011/09/07	奈米工程及微系統技術研討會	潘善鵬、劉惠中	國內研討會	1	中華民國	薄膜分項
採用偏振散射光分析法之晶圓表面奈米微粒粒徑量測系統不確定度評估	2011/09/07	奈米工程暨微系統技術研討會	余大昌、蔡錦隆、傅尉恩、劉承揚	國內研討會	4	中華民國	薄膜分項
非接觸、非破壞式之奈米金屬薄膜電性檢測技術	2011/09/07	奈米工程暨微系統技術研討會	劉子安、程郁娟、張詠晴、傅尉恩、彭錦龍	國內研討會		中華民國	薄膜分項
Film/Interface Thickness of X-Ray Metrology Analysis Based on GA Simulation and Film-Stack Models	2010/11/30	JSPS-DST 日印學術交流研討會	張詠晴	國外研討會	1	印度	薄膜分項
High-k Thin Film Thickness Variation Under Post-Deposition Annealing Investigated By X-ray Reflectivity and X-ray Photoelectron	2011/05/25	International Conference on Frontiers of Characterization and Metrology for Nanoelectronics	張詠晴、傅尉恩	國外研討會	1	法國	薄膜分項

論文名稱	發表日期	期刊/會議	作者	分類	頁數	國家	所屬分項
Spectroscopy							
The Mechanical Properties of Diamond-Like Carbon Films Synthesized by Radio-Frequency Plasma Enhanced Chemical Vapor Deposition	2011/04/12	International Conference on Metrology and Properties of Engineering Surfaces	曾信雄、方彥理、胡宇光、遲雅各、林增耀、張啟生	國外研討會	5	英國	薄膜分項
Layer Structure Variation of Thermal-Processed Thin HfO <sub>2</sub> Films Using X-Ray Reflectivity and X-Ray Photoelectron Spectroscopy	2011/08/16	IEEE NANO	張詠晴、傅尉恩	國外研討會	1	美國	薄膜分項
Implementation of a CMOS MEMS Lorentz Force Actuator for Optical Scanning Stage	2011/10/27	International Microprocesses and Nanotechnology Conference	吳忠霖、孫志銘、王傳蔚、方維倫	國外研討會	2	日本	薄膜分項
Nanometer Scale Grating Evaluation with Small Angle X-ray Scattering (for Critical Dimension Measurement Application)	2011/07/01	International Symposium on Measurement Technology and Intelligent Instruments	陳國棟、張詠晴、傅尉恩	國外研討會	4	韓國	薄膜分項
Non-contact resistance measurement of Chromium nano-film by	2011/11/22	TACT 2011	劉子安、張詠晴、程郁娟、傅尉恩、劉辰	國外研討會	1	中華民國	薄膜分項



論文名稱	發表日期	期刊/會議	作者	分類	頁數	國家	所屬分項
Terahertz time domain spectroscopy			岫、彭錦龍				
Nano-Scale force Studies of PSL Spheres on a Si Substrate Using Atomic Force Microscopy	2011/11/25	International Microprocesses and Nanotechnology Conference	潘善鵬、劉惠中、傅尉恩、余大昌、吳忠霖	國外研討會	2	日本	薄膜分項

註：論文於發表後，須完成單位內技術管理程序的系統登錄，才可列入登錄時間所屬年度之成果。

附件五、研究報告一覽表

報告名稱	發表日期	語言	密等	頁數	作者	所屬分項
奈米壓頭掃描對奈米硬度測定之影響研究	2011/10/18	中文	非機密	82	洪志豪、潘小晞	粒子分項
掃描式電子顯微量測系統校正程序-線距標準片	2011/11/07	中文	非機密	12	翁漢甫、何信佳、陳國棟、張明偉	粒子分項
掃描式電子顯微量測系統評估報告-線距標準片	2011/11/07	中文	非機密	72	翁漢甫、何信佳、陳國棟、張明偉	粒子分項
微力量測系統之靜電力回饋控制	2011/11/17	中文	非機密	10	陳生瑞	粒子分項
參加 100 年西安 APMF 力學研討會	2011/11/16	中文	非機密	26	潘小晞	粒子分項
至韓國參加 ISMTH2011 及參訪 KRIS 之出國報告書	2011/07/22	中文	機密	12	陳國棟	粒子分項
2010 奈米檢測能力問卷統計報告	2011/02/15	中文	非機密	16	張詠晴	薄膜分項
AFM 探頭形貌線上檢測與修正方法期中報告	2011/09/05	中文	機密	23	劉浩志	薄膜分項
利用 AFM 探討奈米粒子與表面基材吸附力之研究	2011/11/07	中文	非機密	39	潘善鵬、劉惠中、傅尉恩、余大昌	薄膜分項
以 X 光反射儀(XR)量測多孔隙薄膜之實驗裝置與分析方法(X-ray Porosimetry, XRP)	2011/11/08	中文	機密	12	張詠晴、傅尉恩	薄膜分項
微奈米機械性質量測系統功能性應用:附著力與刮痕試驗	2011/11/16	中文	非機密	17	吳忠霖	薄膜分項
美國 NIST 客座報告	2011/10/14	中文	非機密	23	張詠晴	薄膜分項

報告名稱	發表日期	語言	密等	頁數	作者	所屬分項
參加日本京都第 24 屆 MNC 研討會與訪問奈/微米系統實驗室出國報告	2011/11/21	中文	非機密	20	吳忠霖	薄膜分項
德國 PTB 參訪及法國 2011FCMN 研討會_出國報告	2011/06/07	中文	非機密	8	張詠晴	薄膜分項
參加美國 2011 IEEE NANO 研討會並發表論文_出國報告	2011/10/14	中文	非機密	8	張詠晴	薄膜分項
LER/LWR(Cross-Section)量測技術研究報告	2011/11/17	中文	非機密	16	劉惠中、潘善鵬	薄膜分項
奈米技術計量標準計畫--100 年度委託研究計畫結案報告--AFM 探頭形貌線上檢測與修正方法	2011/12/05	中文	機密	37	劉浩志	薄膜分項
2011 ISO TC 229 及 IEC TC 113 春季會議報告	2011/11/04	中文	非機密	7	姚斌誠	國標分項
2011 年 ISO/TC229 標準發展	2011/11/04	中文	非機密	17	姚斌誠	國標分項

附件六、研討會/論壇一覽表

項次	研討會名稱	舉辦期間 (起~迄)	舉辦地點	廠商家數	參加人數
1	奈米粒徑量測國際研討會	2011/04/14	新竹	24	71
2	奈米粉體粒徑與奈米薄膜量測技術研討會	2011/06/29	新竹	16	45
3	奈米粒子檢測標準帶動產業發展論壇	2011/06/02	台北	7	8
4	薄膜檢測標準技術論壇	2011/10/19	台北	7	7

附件七

研 究 成 果 統 計 表

成果 項目 分項計畫名稱	專利權 (項數)		著作權 (項數)	論文 (篇數)		一般研究報告 (篇數)			技 術 創 新 (項數)				技術 引進 (項數)	技術移轉		技術服務		研討會/論壇		
	獲證	申請		國內 發表	國外 發表	技 術	調 查	訓 練	產 品	製 程	應 用 軟 體	技 術		項 數	家 次	項 數	家 次	場 次	人 數	日 數
1.奈米粒子/線之尺寸 形貌與功能性量測標 準追溯分項	0	0		2	4	4		2	-	-	-	-	-			9	262	4	131	4
2.薄膜結構與特性量 測標準追溯分項	1	2		5	13	7		4												
3.奈米國際量測與產 品標準推動分項	0	0						2												
小 計	1	2	-	7	17	11		8	-	-	-	-	-	-	-	9	262	4	131	4
合 計	1	2	-	24		19			-				-	-		-	-			

註：

- 註：(1) 技術創新一欄中所謂產品係指模型機、零組件、新材料等。  
 (2) 專利權及著作權項數以當年度核准項目為主，若為申請中案件則於次年度中列報。  
 (3) 研討會含在職訓練、成果發表會及說明會。

附件八、中英文對照表

簡 稱	全 名	中文譯名
AFM	Atomic Force Microscope	原子力顯微鏡
APMP	Asia-Pacific Metrology Programme	亞太計量組織
ASTM	American Society for Testing and Materials	美國材料試驗協會
BCC	Business Communications Company	美國專業市調公司
BET	Brunauer, Emmett, and Teller	BET 比表面積量測方法
BIPM	Bureau International des Poids et Mesures 《International Bureau of Weights and Measures》	國際度量衡局
BNM	Bureau National de Me'trologie	法國國家計量局
CEM	Centro Español de Metrologia	西班牙
CMS	Center for Measurement Standards	量測技術發展中心
CPC	Condensation Particle Counter	凝核計數器
CRM	Certified Reference Material	驗證參考物質
CSIRO	Commonwealth Science and Industrial Research Organization	澳大利亞聯邦科學與工業研究院
DCIC	Drift-Corrected Image Composition	飄移修正影像合成
DLCA	Diffusion-Limited Cluster Aggregation	擴散限制集群聚集
DFM	Danish Institute of Fundamental Metrology	丹麥基礎計量研究院
DLS	Dynamic Light Scattering	動態光散射法
DMA	Didderential Mobility Analyzer	微分型電移動度分析儀
DUV	Deep ultraviolet	深紫外
EAB	Electro-gravitational Aerosol Balance	電重力氣膠平衡法
FE-ESEM	Field Emission Enviromental Scanning Electron Microscope	場發射環境掃描式電子顯微鏡
GUM	Central Office of Measures (Glowny Urzad Miar GUM) POLAND	波蘭計量組織
GXR	Grazing Angle X-ray Reflectometry	X 射線掠角反射術
ICT	Instrument Calibration Technique	儀器校正程序
IMGC	Instituto di Metrologia 'G. Colonnetti	義大利國家計量標準組織
IRMM	Institute for Reference Materials and Measurements	參考物質與量測研究所
ISO	the International Organization for Standardization	國際標準組織
KRISS	Korea Research Institute of Standards and Science	韓國標準與科學研究院
LDV	Laser Doppler Velocimetry	雷射都卜勒流體測速
MEIS	Medium Energy Ion Scattering	中等能量離子散射

簡 稱	全 名	中文譯名
METAS	Swiss Federal Office of Metrology and Accreditation	瑞士國家計量局
MSDS	Material Safety Data Sheets	物質安全資料表
NIM	National Institute of Metrology	中國計量科學研究院
NIST	National Institute of Standards and Technology	美國國家標準與技術研究院
NMi	Nederlands Meetinstituut 《Netherlands Measurements Institute》	荷蘭量測研究院
NMIJ	National Metrology Institute of Japan	日本國家計量研究院
NML	National Measurement Laboratory , R.O.C	中華民國國家度量衡標準實驗室
NPL	National Physical Laboratory	英國國家物理實驗室
NRLM	National Research Laboratory of Metrology	日本計量研究所( 現已改為 NMIJ )
NSF	National Science Foundation	美國國家科學基金會
OELs	Occupational Exposure Limits	職業暴露限制
OFMET	the Swiss Federal Office of Metrology	瑞士國家計量辦公室
PIV	Particle Image Velocimetry	粒子影像流速儀
PFG-NMR	Pulsed Field Gradient Nuclear Magnetic Resonance	脈衝梯度場核磁共振法
PTB	Physikalisch-Technische Bundesanstalt	德國聯邦物理技術研究院
RLCA	Reaction-Limited Cluster Aggregation	減黏附限制集群聚集
RM	Reference Material	參考物質
SAXS	Small Angle X-Ray Scattering	小角度 X 光散射
SE	Spectroscopic Ellipsometry	橢圓偏光量測術
SEM	Scanning Electron Microscope	掃描式電子顯微鏡
SPIP	Scanning Probe Image Processor	探針掃描影像處理軟體
SPM	Scanning Probe Microscope	掃描探針顯微鏡
SRD	Standard Reference Data	標準參考數據
SRM	Standard Reference Material	標準參考物質
STM	Scanning Tunneling Microscope	穿隧掃描顯微鏡
SWE	Single Wavelength Ellipsometer	單波長橢圓偏光儀
TC	Technical Committee	技術委員會
TEM	Transmission Electron Microscope	穿透式電子顯微鏡
TSEM	Traced Scanning Electron Microscope	追溯型掃描式電子顯微鏡

簡 稱	全 名	中文譯名
VNIIM	DI Mendeleev Institute for Metrology	俄羅斯計量組織



附件九、參考文獻索引

編號	出處
奈米粒子/線之尺寸形貌與功能性量測標準追溯分項	
1-1	ISO/IEC Guide 98-3:2008, Uncertainty of measurement -- Part 3: Guide to the expression of uncertainty in measurement (GUM:1995)
1-2	ISO 16700:2004(E), Microbeam analysis — Scanning electron microscopy — Guidelines for calibrating image magnification
1-3	K.D. Hartlen, A.P.T. Athanasopoulos, and V. Kitaev, “Facile Preparation of Highly Monodisperse Small Silica Spheres (15 nm to >200 nm) Suitable for Colloidal Templating and Formation of Ordered Arrays,” <i>Langmuir</i> , 24 (2008) 1714-1720.
1-4	A. Taleb et al., “Synthesis of Highly Monodisperse Silver Nanoparticles from AOT Reverse Micelles: A Way to 2D and 3D Self-Organization”, <i>Chem. Mater.</i> 9:950-959, 1997.
1-5	Y. Sun et al., “Shape-Controlled Synthesis of Gold and Silver Nanoparticles”, <i>Science</i> , 298:2176–2179, 2002.
1-6	Richard Rebizak, Michel Schaefer, and Edith Dellacherie, <i>Bioconjugate Chem.</i> , 1997,8, 605-610
1-7	Sheng-Jui Chen and Sheau-Shi Pan A force measurement system based on an electrostatic sensing and actuating technique for calibrating force in a micronewton range with a resolution of nanonewton scale <i>Meas. Sci. Technol.</i> <b>22</b> (2011) 045104
1-8	Josselin V, Touboul P and Kielbasa R 1999 Capacitive detection scheme for space accelerometers applications <i>Sensors Actuators</i> <b>78</b> 92-8
1-9	J.B. Camp. T.W. Darling and R.E. Brown, ”Macroscopic variations of surface potentials of conductors”, <i>J. Appl. Phys.</i> , 69, 7126-7129, 1991
1-10	Pollack S E, Schlamminger S and Gundlach J H 2008 Temporal extent of surface potentials between closely spaced metals <i>Phys. Rev. Lett.</i> <b>101</b> 071101
1-11	Pratt J R and Kramar J A 2006 SI realization of small forces using an electrostatic force balance Proc. 18th IMEKO World Congress, (17–22 September 2006, Rio de Janeiro, Brazil)
1-12	ISO Guide 34:2009 General requirements for the competence of reference material producers.
1-13	ISO TC 201/SC 9/WG 5: Determination of cantilever normal spring constants
1-14	M-S Kim and J R Pratt, “SI traceability: Current status and future

編號	出處
	trends for forces below 10 microNewtons”, Measurement 43 (2010) 169-182
薄膜結構與特性量測準追溯分項	
2-1	Dmitry V. Gorelikov, Jason Remillard, and Neal T. Sullivan, “CD-SEM-based Critical Shape Metrology of integrated circuits,” Proceedings of SPIE Vol. 5375, pp 605-613 (2004)
2-2	J. Foucher, A. Pikon, C. Andes, J. Thackeray, Impact of Acid Diffusion Length on Resist LER and LWR measured by CD-AFM and CD SEM, Proc. of SPIE Vol. 6518 pp. 65181Q (2007)
2-3	Bunday, B. Allgair, J. Solecky, E.; Archie, C. Orji, N. G. Beach, J. Adan, O. Peltinov, R. Bar-zvi, M. Swyers, J., “The Coming of Age of Tilt CD-SEM,” Proceedings of the SPIE, Volume 6518, pp. 65181S (2007).
2-4	J. R. Price, P. R. Bingham, K. W. Tobin, and T. P. Karnowski, “Estimating cross-section semiconductor structure by comparing top-down SEM images,” in Machine Vision in Industrial Inspection XI, Proc. SPIE 5011, pp. 161–170 (2003)
2-5	Philip R. Bingham, Jeffery R. Price, Kenneth W. Tobin, Thomas P. Karnowski, Semiconductor sidewall shape estimation, Journal of Electronic Imaging, Vol. 13, pp. 474-485 (2004)
2-6	P. A. Bobbert and J. Vlieger, “Light Scattering by a Sphere on a Substrate,” Physica, Vol. 137A, pp. 209-242, 1986.
2-7	J. C. Stover, Optical scattering: measurement and analysis, Washington: SPIE Optical Engineering Press, 1995.
2-8	H. C. v. d. Hulst, Light scattering by small particles, New York: Dover, 1981.
2-9	J. C. Stover, “Optical scattering in the optics, semiconductor, and computer disk industries,” Proc. SPIE 2541, 1995.
2-10	K. A. Fuller, G. W. Kattawar and R. T. Wang, “Electromagnetic scattering from two dielectric sphere: further comparisons between theory and experiment,” Applied Optics, Vol. 25, pp. 2521-2529, 1986.
2-11	G. Videen, “Light scattering from a sphere on or near a surface,” J. Opt. Soc. Am. A, Vol. 8, pp. 483-489, 1991.
2-12	B. R. Johnson, “Calculation of light scattering from a spherical particle on a surface by the multipole expansion method,” J. Opt. Soc. Am. A, Vol. 13, pp. 326-337, 1996.
2-13	G. Videen and D. Ngo, “Light scattering from a cylinder near a plane

編號	出處
	interface: theory and comparison with experimental data,” J. Opt. Soc. Am. A, Vol. 14, pp. 70-78, 1997.
2-14	W. Sun, Q. Fu and Z. Chen, “Finite-difference time-domain solution of light scattering by dielectric particles with a perfectly matched layer absorbing boundary condition,” Applied Optics, Vol. 38, pp. 3141-3151, 1999.
2-15	T. A. Germer and C. C. Asmail, “The polarization of out-of-plane scattering from microrough silicon,” Optics Letters, Vol. 22, pp. 1284-1286, 1997.
2-16	T. A. Germer, “Angular dependence and polarization of out-of-plane optical scattering from particulate contamination, subsurface defects, and surface microroughness,” Applied Optics, Vol. 36, pp. 8798-8805, 1997.
2-17	T. A. Germer and C. C. Asmail, “Goniometric optical scatter instrument for out-of-plane ellipsometry measurements,” Review of Scientific Instruments, Vol. 70, pp. 3688-3695, 1999.
2-18	L. Sung, G. W. Mulholland and T. A. Germer, “Polarized light-scattering measurements of dielectric spheres upon a silicon surface,” Optics Letters, Vol. 24, pp. 866-868, 1999.
2-19	R. M. A. Azzam, “Photopolarimetric measurement of the Mueller matrix by Fourier analysis of a single detected signal,” Optics Letters, Vol. 2, pp. 148-150, 1978.
2-20	K. B. Nahm and W. L. Wolfe, “Light-scattering models for spheres on a conducting plane: comparison with experiment,” Applied Optics, Vol. 26, pp. 2995-2999, 1987.
2-21	C. F. Bohren and D. R. Huffman, Absorption and scattering of light by small particles, Wiley-VCH, Germany, 2004.
2-22	ISO/IEC Guide 98-3:2008, Uncertainty of measurement — Part 3: Guide to the expression of uncertainty in measurement (GUM:1995).
2-23	W. C. Hinds, Aerosol Technology – Properties, Behavior, and Measurement of Airborne particles, 2nd, John Wiley, New York, pp.44-46, 1999.
2-24	Wei Chua, Xuezheng Zhaoa, Joseph Fu, Theodore Vorburger, “Study of an image stitching method for linewidth measurement,” Proceedings of SPIE Vol. 5446, 2004.
2-25	ASTM document E1392-96, ‘Standard Practice for Angle Resolved Optical Scatter Measurements on Specular or Diffuse Surfaces’, 2002.

## 審查意見表

計畫名稱：奈米技術計量標準計畫（3/6）

100 年度 細部計畫審查

期中報告

期末報告

建 議 事 項	說 明
<p>A 委員</p> <p>1.本計畫主要針對奈米粒子/線之尺寸形貌與功能性量測標準以及薄膜結構與特性量測之標準建立，並推動奈米國際量測標準，對於國內產學界在奈米量測與定義能更符合國際上之標準。</p> <p>2.建議說明奈米粒子分析中主要針對奈米銀與二氧化矽兩種粒子之探討原因。</p> <p>3.在與領先國家比較的奈米粒子懸浮與表面積量測技術中，所列出之規格為預計達成之目標，建議應列出目前實際已可達成之規格，再規劃未來目標。</p>	<p>感謝委員的肯定與支持。</p> <p>感謝委員的建議與指導。簡單說明如下，並增列補充說明資料，節錄於附件十二。</p> <p>1.金屬奈米粒子中，由於奈米銀常被用於裝飾、衣物、噴劑與家電等產品。因奈米銀顆粒與病菌的細胞壁膜有相當強的結合能力，能直接進入菌體，迅速與氧代謝的硫醇結合，阻斷代謝並使其失去活性，達到所謂的抗菌功能。但也產生對人體適否有危害之疑慮，是近年相當熱門的研究對象。國內外實驗室也陸續投入這方面之研究。計畫希望建立奈米銀的標準粒子，協助與整合國內的實驗工作。</p> <p>2.二氧化矽奈米粒子廣範應用於工業界，如應用於加入紡織纖維中，改善老化與增加抗菌等效用，或應用於 CMP 當成研磨液，運用於晶圓拋光等，FY98 與 FY99 陸續研製出聚苯乙烯球等標準物質，但聚苯乙烯球在 SEM 與 TEM 的量測過程中，會因電子槍的加熱而變形，因此開發二氧化矽，可製作為標準粒子溶液或佈值於晶圓表面製作成標準片等以用在各產業之奈米粒子檢測儀器的校正與驗證用。</p> <p>感謝委員的建議與指導。於計畫書 P44~P55 中說明系統的架設以及初步的測試結果。目前是以微分電移動度分析儀與氣膠靜電計等儀器設計加上互換法方式，進行校正業界</p>

建 議 事 項	說 明
<p>4.該計畫為奈米計量標準計畫，而在奈米粒子/線之尺寸形貌與功能性量測標準追溯分相中卻針對研製奈米粒子參考物質技術探討，建議說明其用意為何，若改為與國內、外相關產學界合作是否能更符合未來之需求。</p> <p>5.在薄膜結構與特性量測中，建議列出與目前領先國家之差異，以做為日後改進之目標。</p>	<p>常用的凝核技術器，主要是氣膠靜電計的粒子計數效率遠高於其他方法，而其效率主要由流量的控制與電流計等的精確度所決定，這部份尚未完成驗證；因此，於下年度將進行流量與電流量等之校正、追溯至 SI 單位與系統的評估等工作，使不確定規格可達成設定之目標。</p> <p>感謝委員的建議與指導。補充奈米粒子的研製資料與說明於附件十二。關於產學合作，以無毒奈米銀粒子為例子，係與遠東科技大學蔣瑞光老師合作開發，由我們依 ISO GUIDE 34 規範進行標準參考物質驗證，並與國衛院進行生物與毒性相關實驗與研究等，未來將會成為標準粒子，供應國內進行生物實驗等應用，以期能符合未來之需求。</p> <p>感謝委員的建議與指導，詳細說明請參見 Fy100 計畫書 p.83-89，並摘錄如附件十三，請卓參。</p>
<p>B 委員</p> <p>6.量測中心執行奈米技術計量標準計畫成果豐碩，有論文發表、輔導廠商也舉辦研討會、推廣計畫成果。只是在教育推廣方面與少數學校的少數團隊合作，是否可辦教育訓練課程，讓更多人受惠，可以利用此充沛的資源，另外在人力的規劃上，研究員副研究員級實際與預估為何差那麼多。</p>	<p>感謝委員的建議與指導。針對計畫各研究主題，學校已建立的相關研發能量，一直是計畫所重視的；而計畫每年亦有辦理相關收費或免費的研討會、說明會或展覽，歡迎有興趣的專家學者留下聯絡資訊，計畫將會發送即時最新活動訊息。人力規劃與執行差異，在於異動有經驗的專業人力，進行 2012 將進行的國內外奈米粒子比對活動的前置作業及配合辦理周邊的活動而反應的實際情形。</p>
<p>C 委員</p> <p>7.本計畫之執行成果看起來相當豐碩，可否進一步說明目前國內之二級實驗室需要國家標準室的那些服務？本計畫(或實驗室)目前可以提供的服務項目有那些？如果没有本實驗室，目前國內的廠商如何因應？在經濟效益的評估方面，全國現有超過一千多家的</p>	<p>感謝委員的建議與指導。經濟部標準檢驗局依據度量衡法第四條設置國家度量衡標準實驗室(National Measurement Laboratory, NML)，負責全國度量衡最高標準之研究實驗、建立、維持、保管、供應、校正及其他相關事宜。委託工研院量測中心開放對外服</p>

建 議 事 項	說 明
<p>二級認證實驗室，年產值可達 25 億元，但過去 8,9 年的校正服務卻僅 1200 件左右？</p>	<p>務，已發展長度、力量、質量、聲量……等十五個量測領域，119 套國家量測標準系統，提供國家最高量測追溯服務(一級校正)，建立國內完整的計量追溯體系，使二級認證實驗室可以追溯至國家度量衡標準實驗室，本計畫至 FY100 年底，已陸續建置完成 10 套系統，以二級實驗室之數量(全國認證基金會目前所認可之實驗室超過一千家)作為乘數來評估一級校正所產生後續衍生效益，依此計算，本計畫在經濟效益上的擴散效益，每年可達 25 億元。</p>
<p>D 委員</p> <p>8.計畫報告第 5 頁所載之在 100 nm 等級線距之量測中，其最佳量測能力之量測不確定度約為 2.5 nm。請說明在 200 nm 等級線距之量測中，其最佳量測能力之量測不確定度為何？</p> <p>9.計畫報告第 30 頁所載之奈米線距其最佳量測能力之 <math>u</math> 是否為量測不確定度？若為量測不確定度，其所載 70 nm 線距 &lt; 700 nm；<math>u=0.3</math> nm。是否在 70 nm 至 700 nm 等級線距之量測中，其最佳量測能力之量測不確定度皆小於或等於 0.3 nm？</p>	<p>感謝委員的建議與指導。第五頁所載之“10007 追溯型電子顯微鏡，在 100 nm 等級線距之量測中，其最佳量測能力之量測不確定度約為 2.5 nm。”，這是在今年 7 月份對於線距校正量測之初步評估結果，依照規範是線距量測是量測 10 條線距平均值，當時沒有將平均效應考慮到評估中，所以量測不確定度約為 2.5 nm 過大，經最後更新後，在評估報告中之量測不確定度約為 0.3 nm。對於 200 nm 等級線距之校正量測，有評估 70 nm ~ 700 nm 範圍，但未針對 200 nm 線距這一量測點，去評估量測不確定度，有評估出 700 nm 線距之量測不確定度為 2.8 nm。</p> <p>感謝委員的建議與指導。參考 BIPM 對於實驗室認可能量(CMC)定義，當對於校正系統進行評估後，可得到影響量測結果之要因與分析對量測影響量，綜合出量測不確定度，同時需針對量測範圍評估出本校正系統之最小量測不確定度，經認可後，將來校正報告之量測不確定度不得小於認可之最小量測不確定。所以在評估時，是以最小線距 70 nm 且是品質相當不錯標準片，進行評估，得到最小不確定度為 0.3 nm，這是在 70 nm</p>

建 議 事 項	說 明
<p>10. 計畫報告第 8 頁所載之晶圓表面 30-60 nm 微粒分佈量測研究，與原計畫書所規劃晶圓表面 5 nm 微粒分佈量測研究，其差異之原因為何？</p> <p>11. 請說明奈米粒子/線功能性量測，所完成微力標準機構其樣本定位精度為何？</p>	<p>至 700 nm 等級線距之校正量測中最小不確定度；之後，提供校正服務時，量測不確定度會因標準件品質、當時量測環境與量測重複性等因素，會有不同之量測不確定度，但量測不確定度需大於或等於認可之最小量測不確定度 0.3 nm。</p> <p>感謝委員的建議與指導。計畫建置之晶圓表面奈米微粒粒徑校正系統，已於今年 3 月完成系統查驗，正式開放服務，量測範圍為 100 nm 至 300 nm，為滿足半導體先進製程的檢測需求，計畫針對 30-60 nm 微粒分佈量測進行前瞻性研究，5 nm 微粒分佈量測，亦將是計畫下一階段的研究規劃內容。</p> <p>感謝委員的建議與指導。在計畫書中所指之樣本可以為法碼、微懸臂樑或微力感測器，樣本之力學特性可由移動樣本並對微力標準機構施力，在由此位移與施力曲線計算出如彈力常數(spring constant)等參數。此過程中，只需最小位移增量滿足最小力量增量之要求即可，所以樣本之移動並無施以閉迴路定位控制，而為開路控制模式(open-loop control)。毫克法碼自動置放台之最小位移增量為 50 nm，所對應之力量增量為 0.9 <math>\mu\text{N}</math>；另一搭配微懸臂樑升降之移動台之最小位移增量為 10 nm，所對應之力量增量為 0.18 <math>\mu\text{N}</math>。微力標準機構之施力上限為 200 <math>\mu\text{N}</math>，所以位移與施力曲線之取樣點數最大可達 1000 點以上，滿足樣本力學特性量測之需求。</p>
<p>E 委員</p> <p>12. 全程計畫有 3 分項，分為奈米粒子，薄膜量測，與推動，依計畫報告看，人力經費與技術執行良好。</p> <p>13. 在奈米粒子分項: 在 p.4 目標達成程度欄，敘述太瑣碎，類似日誌，不易了解其重點,應著重與計畫目標直接相關部分。例：在</p>	<p>感謝委員的肯定與支持。</p> <p>感謝委員的建議與指導。在 p.4 目標達成程度欄，是以全年度每個月份的實際工作進度角度切入撰寫，分項中各個計畫的研究成</p>

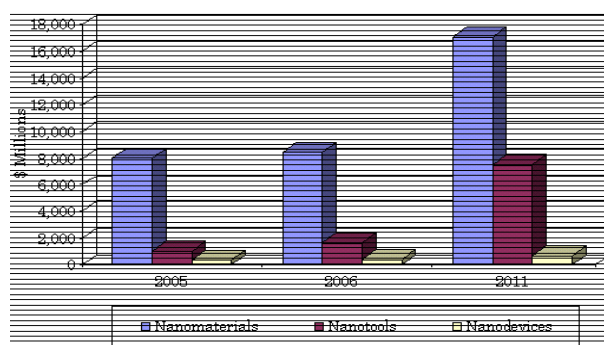
建 議 事 項	說 明
<p>奈米粒子參考物研製技術項目，其成果為何，就不易在此欄看到成果</p> <p>14. 在薄膜量測分項: 在 p.7 目標達成程度欄，敘述太瑣碎，類似日誌，不易了解其重點；例:薄膜拉伸量測技術項目，成果為何?</p> <p>15. 在推動分項: 在 p.12 目標達成程度欄，敘述太瑣碎，類似日誌，不易了解其重點；例:到底在推動項目最重要的活為何?</p>	<p>果，請參見伍、成果說明與檢討中，每個子計畫，以年度目標、本年度成果、技術創新、突破之瓶頸、待改善之處、後續工作構想及重點六個重點項目，逐一敘述。</p> <p>感謝委員的建議與指導。在 p.7 目標達成程度欄，是以全年度每個月份的實際工作進度角度切入撰寫，分項中各個計畫的研究成果，請參見伍、成果說明與檢討中，每個子計畫，以年度目標、本年度成果、技術創新、突破之瓶頸、待改善之處、後續工作構想及重點六個重點項目，逐一敘述。</p> <p>感謝委員的建議與指導。在 p.12 目標達成程度欄，是以全年度每個月份的實際工作進度角度切入撰寫，分項中各個計畫的研究成果，請參見伍、成果說明與檢討中，每個子計畫，以年度目標、本年度成果、技術創新、突破之瓶頸、待改善之處、後續工作構想及重點六個重點項目，逐一敘述。</p>





## 附件十二：

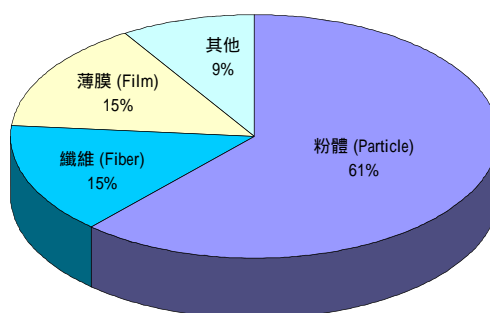
根據擅長多種產業分析，並著重於成長迅速領域相關之策略性調查的美國專業市調公司 BCC (Business Communications Company)所出版的調查報告指出，全球奈米科技之市場規模於 2005 年為 94 億美元，於 2006 年達到 105 億美元，且於 2006 年至 2011 年間，以近百分之 20 的年平均成長率(Average Annual Growth Rate, AAGR)持續成長，因此預估到 2011 年時，將會達到 252 億美元的市場規模，如圖 1-1 所示，其中奈米材料更是支配了整個奈米科技的市場發展 [1-15]。同時，美國國家科學基金會 NSF(National Science Foundation)亦指出，於 2010-2015 年時，與奈米科技相關之產品與服務將會有一兆美元的市場規模，其中，奈米材料約佔整個市場規模的三分之一。再者，根據國際度量衡局 BIPM(Bureau International des Poids et Mesures)委託國際知名的 KPMG 顧問公司所做的市場調查，標準對於產業的影響，約佔整個市場規模百分之一的市場產值，據此推估，於 2010-2015 年間，奈米標準約有 2.5 億至 100 億美元的市場產值，且絕大部分將落在奈米材料檢測標準中。



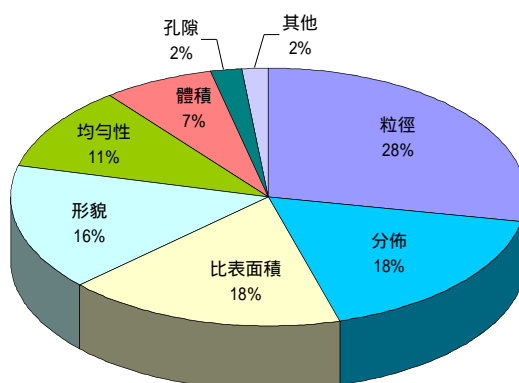
□ 圖1-1 2005-2011年全球奈米科技市場調查(資料來源：BCC)

目前對於奈米產業與奈米檢測技術而言，仍然缺乏共通一致性的用語與命名；共通一致性的奈米粒子毒性測試方法；奈米粒子對環境衝擊的標準測試方法；以及奈米尺度之校正標準程序與標準物質等，因此奈米檢測技術與檢測標準的建立，有其必要性與急迫性。有鑑於此，國際標準化組織 ISO(International Organization for Standardization)針對奈米科技，於 2005 年由英國主導成立了相關的技術委員會(Technical Committee 229, TC229)，開始發展國際奈米技術標準，委員會的工作重點為奈米技術的標準化。為此，奈米技術標準委員會中設立了四個工作小組，各個工作小組並擬訂了奈米粒子、奈米碳管、以及奈米薄膜為優先制定標準的主題。在奈米粒子產業應用方面，奈米粒子大致上可歸為以下幾類：碳素材料、金屬材料、金屬氧化物、以及矽酸鹽類等，根據工研院

奈米中心委託量測中心，針對國內奈米相關產業所做的奈米關鍵參數問卷調查結果顯示，現階段國內業者所使用或生產之奈米材料的主要物質包括單一成分粒子的奈米金、奈米銀、以及奈米碳與氧化物粒子的氧化鋅、二氧化矽、以及二氧化鈦等，而國內業者所使用或生產的奈米材料種類中，奈米粒子所佔的比例超過六成，如圖 1-2 所示，由此可見奈米粒子在整個奈米科技產業化的發展過程中，扮演著相對關鍵重要的角色。再者，針對奈米粒子而言，國內業者認為需要檢測的關鍵參數依序為粒徑、分佈、比表面積、以及形貌等，如圖 1-3 所示。



□ 圖1-2 國內奈米相關業者所生產或使用之奈米材料種類



□ 圖1-3 奈米粒子需要檢測之關鍵參數圖

隨著產業的快速成長，市場上各種奈米量測技術與儀器之量測值的準確性、重現性、以及量測標準的追溯性重要性將會日益重要。對奈米粒子量測儀器而言，以適當的粒徑標準來做為校正之參考標準是品保計畫重要的一環，參考物質 RM(Reference Material)主要用來現場校正設備與儀器等，以確保特定之量測項目的準確性或驗證新量測方法的開發。根據 ISO Guide 30:1992，更高等級的參考物質附有驗證證書，並且提供單一或多種特性的量測值，同時可追溯至原級標準且標示有信賴水準的量測不確定度者，稱為驗證參考物質 CRM(Certified Reference Material)。驗證參考物質的客戶群包括產業界、學術界、研究單位、以及政府相關部門，主要目的是用來促進商業、貿易、以及科

學的研究與發展，應用的領域包含工業材料生產與分析、環境分析、醫療體檢、基礎科學、以及計量量測等。

### 附件十三：

#### 壹、半導體 CD 量測技術比較

技術或量測系統名稱	技術領先國家現況	NML 目前技術狀況
表面結構參數量測-週期性線寬	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Scattering 量測技術</li> <li>■ SAXS 量測技術</li> </ul> 美國：實驗室型 SAXS 量測系統建立完成，line width 量測能力測試中。	目前僅有 XRR 檢測能力，及 SAXS 量測理論基礎
參考物質之量測技術： LER/LWR、奈米級表面粗糙度(Ra 0.3 nm ~ 1.0 nm)	美國： CD-AFM ( 50 nm) CD-SEM (40~240 nm) CD-HRTEM (40~240 nm) CNT-AFM ( 50 nm) 表面粗糙度(Ra 0.03 μm ~ 10 μm) (不確定度:10 nm)  德國： AFM (50 nm gratings) 表面粗糙度(Ra 0.02 μm ~ 10 μm) (不確定度:0.5 nm) Linewidth (W= 0.02 μm ~ 1000 μm) (不確定度:15 nm)	目前只有建立 R <sub>a</sub> 大於 6 nm 以上表面粗糙度校正系統  NML 表面粗糙度(Ra 0.01 μm ~ 10 μm)(不確定度:5 nm)
3D 高深寬比結構量測技術	美國：SEM, SAXS, Scattering, AFM. 德國：CD-SEM、AFM 英國：CD-SEM、AFM	目前只有建立線距大於 100 nm 校正系統，且無法量測高深寬比

貳、薄膜表面特徵測標準技術現況比較

技術或量測系統名稱	技術領先國家現況	NML 目前技術狀況
晶圓表面特徵之偏振散射光量測技術	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 美國 NIST: 量測系統建立完成並提供業界散射樣品之散射光場型量測服務, 無完整系統評估。具有微粒粒徑<math>\geq 100</math> nm 之量測能力。</li> <li>2. 德國 PTB: 應用 BRDF 於反射式擴散板之直接反射光反射率量測。</li> </ol>	微粒粒徑 $\geq 100$ nm 校正能力。

參、薄膜拉伸技術比較表

技術或量測系統名稱	技術領先國家	美國 NIST	德國 PTB	NML 目前技術狀況
薄膜拉伸功能量測技術	美國、德國	NIST利用微機電製程開發可於艱困環境 (Harsh environment) 如溫度與溼度狀況下量測機械性質的測試晶片 (On-chip test structures)	PTB 目前亦利用微機電技術發展微奈米拉伸與壓痕測試元件, 量測 100 nm 金屬鋁膜的機械性質。	利用現有標準系統增進奈米拉伸與壓痕的功能性應用, 進行薄膜附著力的量測, 以提供對產學研的服務與助益。