

奈米尺寸檢測儀器及標準介紹

Introduction of the Nanometer Scale Instruments and Standards

陳朝榮、陳彥良、王振宇、潘善鵬、安惠榮

Chao-Jung Chen, Yen-Liang Chen, Chen-Yu Wang, Shan-Peng Pan, Hye-Young Ahn

奈米技術可能是繼蒸汽機、電晶體、半導體之後，在 21 世紀影響人類生活最重要的工業技術，奈米科技係指尺寸介於 1 nm 至 100 nm 之間物質特性的創新研究，從美國柯林頓前總統簽署國家型奈米科技研發計畫開始，全球各國也陸續投入奈米科技的研發。我國於 91 年 9 月成立「奈米國家型科技計畫」辦公室，並從 92 年至 97 年為期六年投入約 212 億的奈米科技研發，本文介紹和奈米科技研發相關的奈米尺寸量測儀器和其標準，包括三維形貌、階高、膜厚、奈米粉體粒徑等。

Nanotechnology might be the main industrial technology in 21 century after steam engine, transistor, and semiconductor. Nanotechnology means the innovative research of material properties of size between 1 nm and 100 nm. Beginning from the former American president Clinton signed the National Program for Nanotechnology, all the world started to put more supports on advanced research in nanoscience and nanotechnology. Taiwan government established the “National Science and Technology Program for Nanoscience and Nanotechnology” in 2002. The research budget is about 21.2 billions from 2003 to 2008. This paper describes the nanotechnology related nanometrological instruments and their standard traceability. The measuring parameters are 3D topography, step height, film thickness, and nanoparticle size.

一、前言

奈米科技研發是目前全球科技研發的焦點，各國均投入龐大的研究經費，如美國在 2002 年由十個聯邦部會共編列 6.044 億美元，歐盟決定在 2002 – 2006 年五年內共投入 13 億歐元，日本在 2002 年的奈米科技經費達 746 億日元，韓國科技部於 2001 年 5 月宣布成立十年奈米技術研發計畫，

2001 年起以半導體研究為基礎的奈米科技培育計畫預算為 1,502 億韓元，2002 年的預算編列為 2,031 億韓元⁽¹⁾。我國從 92 年到 97 年共投入約 212 億在奈米國家型科技計畫研發，內容包括學術卓越、產業化技術、核心設施建置與分享運用、人才培育等四個分項計畫，希望五、六年內能使我國奈米方面的基礎研究提升至世界卓越的地位。預計到 2008 年全球在奈米相關產品的產值有 3000 億元。

其中在經濟部標準檢局部分，預訂投入 2.95 億在奈米技術計量標準計畫，規劃了尺寸參數量測、力學性質量測、電磁特性量測等三類 12 項參數量測追溯鏈的建立作為計畫的重點。由現有基礎出發，檢討奈米技術檢測參數追溯至 SI 單位 (the International System of Units) 過程中 (如圖 1)，量測追溯鏈的斷層或是規格不足處，予以建立或補強。其他類別如物理特性、化學特性等量測參數的追溯需求及各類檢測程序之文件標準，則將視技術進展再行檢討。從量測追溯的觀點來看，由下而上第一層是奈米技術及其應用領域所進行的大量研究，第二層是這些研究所需量測的參數及所用的儀器，第三層是量測儀器的量值連結至 SI 單位的追溯鏈。計畫之目的即在於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準標，並配合奈米國家型科技計畫開發奈米計量技術，確保研發技術規格為國際所認同，以為我國長期產業及經濟發展奠基⁽²⁾。

奈米技術計量標準計畫規劃尺寸參數、力學性質、電磁特性等三個分項共 12 個量測參數，其中

尺寸參數量測追溯分項的量測追溯鏈如圖 2，全程目標分述如下：

1. 三維具追溯性掃描探針顯微鏡之研製，量測範圍 $100 \times 100 \times 10 \mu\text{m}^3$ ，量測不確定度 0.5 nm。
2. 非接觸式具追溯性奈米階高標準系統研製，量測範圍 10 nm – 100 μm ，量測不確定度 $\sqrt{10^2 + (5D)^2}$ nm，其中 D 為階高值，單位為 μm 。
3. 光學式薄膜厚度量測系統建立，量測二氧化矽薄膜厚度 2 nm，量測不確定度 0.1 nm。
4. 建立高精度角度原級標準，可連續量測 0.1'' – 360° 範圍，最小解析度 0.05''，其量測不確定度 0.1''。
5. 完成奈米級雷射繞射儀研製，量測範圍 50 – 1000 nm，量測不確定度 0.5 nm。
6. 建立奈米粒徑標準，量測範圍 20 – 1000 nm，量測不確定度 2 – 10 nm。
7. 建立幾何形貌量測軟體之驗證方法，以及建立幾何形貌量測軟體之標準參考數據資料庫。

以下針對尺寸參數量測追溯中研製的三維尺寸量測、階高量測、膜厚量測、粉體粒徑量測所用的量測儀器和標準追溯作較詳細的介紹。

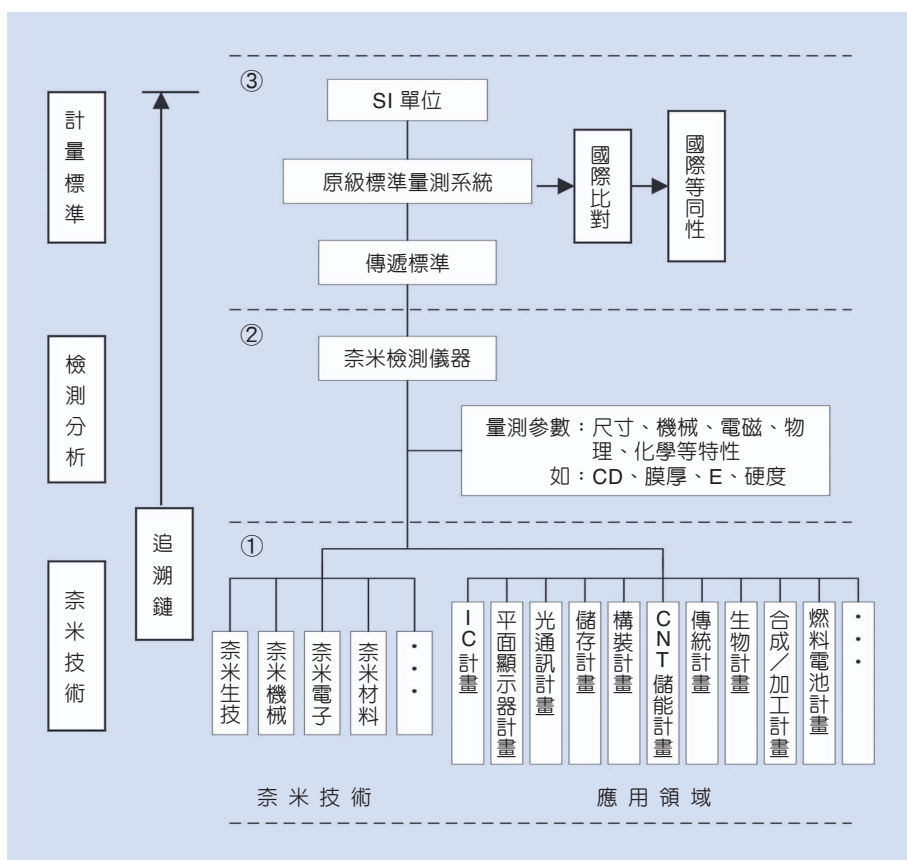


圖 1. 奈米技術量測追溯鏈示意圖。

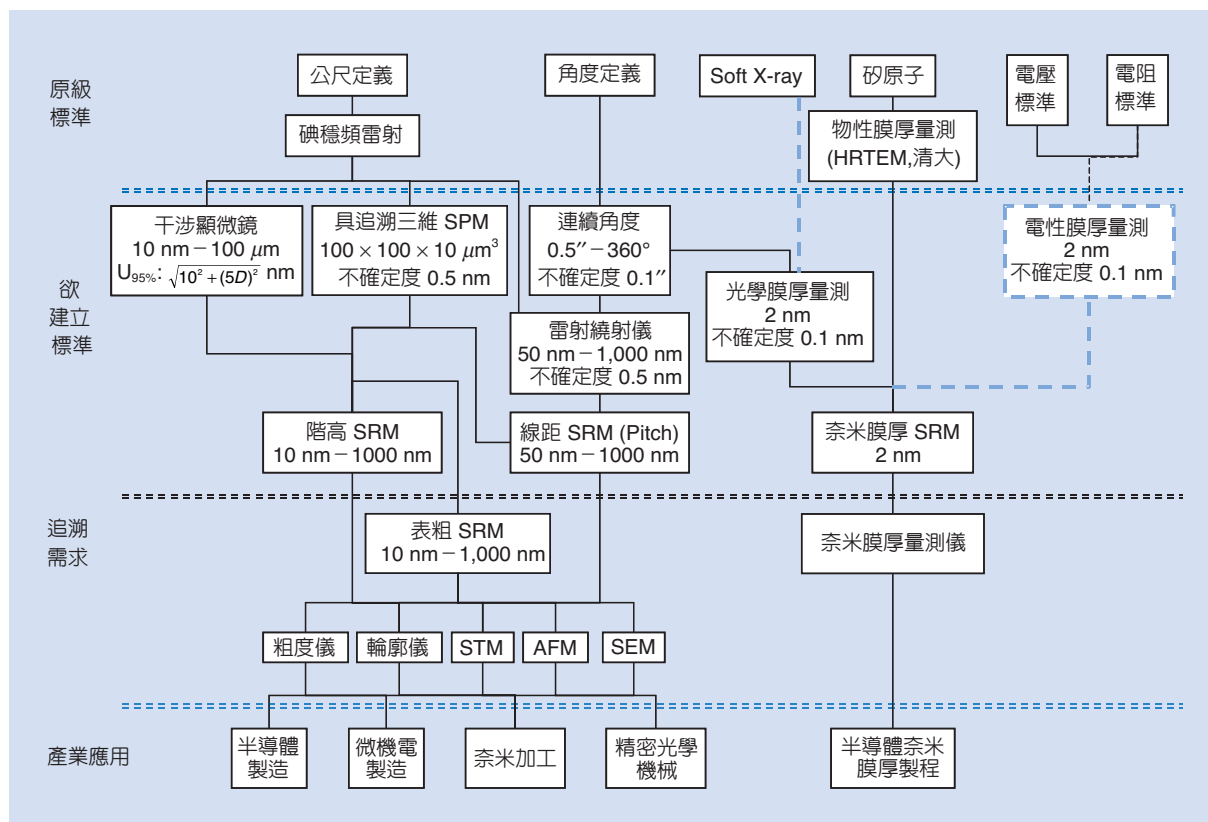


圖 2. 三維奈米尺寸標準及量測追溯。

二、三維尺寸量測

在顯微形貌量測技術發展上，1982 年 G. Binnig 和 H. Rohrer 等人發明了掃描穿隧式電子顯微鏡 (scanning tunneling microscope, STM)⁽³⁾，可以用來觀察原子量級的表面顯微結構，及 1986 年 G. Binnig 等人利用待測樣品與探針間原子力 (即凡得瓦爾力，Van der Waals force) 的原理，研製出原子力顯微鏡 (atomic force microscope, AFM)⁽⁴⁾，這類型的量測儀器統稱為掃描探針顯微鏡 (scanning probe microscope, SPM)，可用於導體、非導體和生物等樣品的表面顯微形貌量測，已普遍應用在科學研究和半導體工業量測上。這種量測儀通常利用壓電陶瓷傳感器作為掃描器，但因其受限於壓電陶瓷傳感器的非線性、遲滯、老化、潛變、正交偏差等特性，可能產生至 20% 的量測誤差，故需定期以奈米尺寸標準件校正。奈米尺寸標準件有一維線距、二維線距和階高標準，本節將介紹計量型原子力顯微鏡和雷射繞射儀等二種線距標準的量測方法。

1. 計量型原子力顯微鏡

計量型原子顯微鏡研製方面，已有美國國家標準與技術研究院 (NIST) 的分子量測儀 (molecular measuring machine) 和校正型原子力顯微鏡 (calibrated atomic force microscope)、德國聯邦物理技術研究院 (PTB) 的計量型原子力顯微鏡 (metrological atomic force microscope)⁽⁵⁾、瑞士標準局 (METAS) 的長行程奈米輪廓量測儀⁽⁶⁾ 和英國國家物理研究院 (NPL) 的奈米三次元和計量型原子力顯微鏡，國家度量衡標準實驗室也在 2001 年完成計量型原子力顯微鏡⁽⁷⁾，提供一維線距校正技術。

圖 3 即為計量型原子力顯微鏡，(a) 為量測原理示意圖，(b) 為量測系統照片。量測系統結合了原子力顯微鏡、主動補償三維微動台、差動雷射干涉儀、L 型反射鏡、水循環恆溫控制器和隔振台等，其中雷射干涉儀為一具追溯性的位移計，雷射波長準確度追溯至紅光碘穩頻氦氖雷射。量測前將送校線距標準片置於微動台上的試片承載座，以原子力顯微鏡對準待校區域，並啟動水循環控溫系

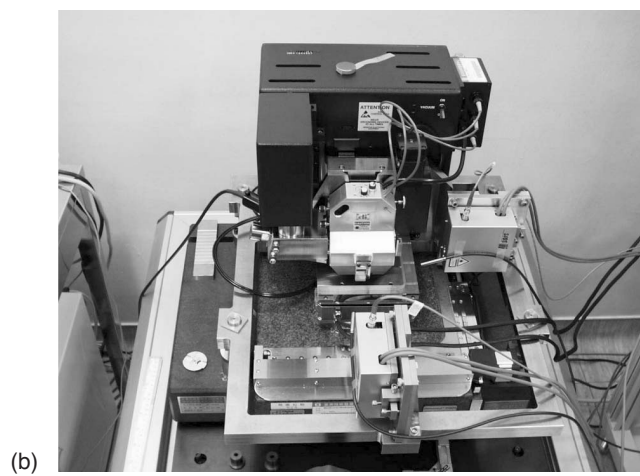
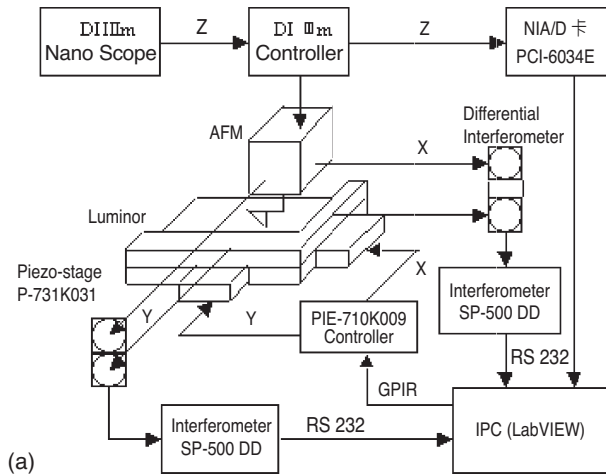


圖 3. 計量型原子力顯微鏡，(a) 系統量測原理圖，(b) 系統照片。

統恆溫。量測時，原子力顯微鏡作定點高度掃描 (height scanning)，並以 LabVIEW 軟體控制微動台使待校線距標準片作平面掃描，並以雷射干涉儀記錄微動台在 XY 平面的位移和原子力顯微鏡內部的電容位移計記錄 Z 軸高度變化。

圖 4 為以計量型原子力顯微鏡實際量測標稱值為 292 nm 的一維線距標準片 3D 圖，量測線距時三軸微動台只作 X 軸和 Y 軸掃描移動，同時以原子力顯微鏡的電容位移計感測 Z 軸的形貌變化，所取得的三維數據再經 MATLAB 程式作 X, Y 軸等間距內差，最後由 SPIP (scanning probe image processor) 軟體計算出線距值和線距條紋的傾斜角度，量測系統在 95% 的信賴水準下，最佳的量測

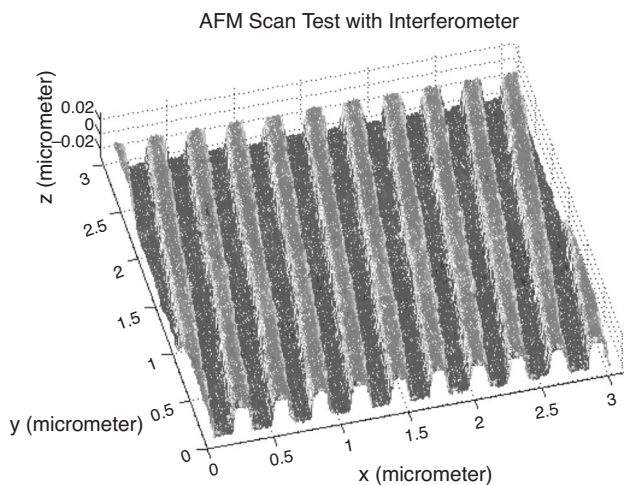


圖 4. 以計量型原子力顯微鏡量測 292 nm 線距標準片的 3D 圖。

擴充不確定度為 2.5 nm。未來將在 Z 軸增加一雷射干涉儀，可用在微小階高校正。

2. 雷射繞射儀

當雷射光束打在具有等間距 (P) 的密集光柵時，會產生不同方向的繞射光束^(8,9)。如圖 5 所示為反射式的繞射原理和雷射繞射儀的系統照片，入射光束與光柵之法線的夾角為 α ，則其零階反射光束與法線的夾角為 β_0 ，正一階繞射光束與法線的夾角為 β_1 ，負一階繞射光束與法線的夾角為 β_1 ，另外還有其他高階的繞射光束沒有表示出來。雷射繞射儀是由雷射光源、精密角度定位轉盤、四象限位置感測器、分光鏡和反射鏡等光學元件所組成。

當入射角等於繞射角時 ($\alpha = \beta$)，繞射光束會沿入射光束方向返回，這個現象稱為 Littrow 配置 (Littrow configuration)。因此，利用 Littrow 配置的繞射原理來量測光柵的間距時，可由雷射波長和 Littrow 繞射角度來計算光柵間距 (P)， $P = m\lambda / 2\sin\alpha$ ，其中 λ 為雷射光源的波長， α 為 Littrow 配置的繞射角度， m 為繞射階數，一般採用一階繞射來量測光柵線距。因量測結果為雷射光束照射的數千條光柵之線距平均值，其量測擴充不確定度比原子力顯微鏡要小很多，在 95% 的信賴水準下，292 nm 一維線距標準片的最佳量測擴充不確定度為 0.0033 nm。雷射繞射儀的缺點是無法獲得如圖 4 線距條紋的實際輪廓，且量測範圍受到雷射波長的限制，無法量測小於二分之一波長的線距。

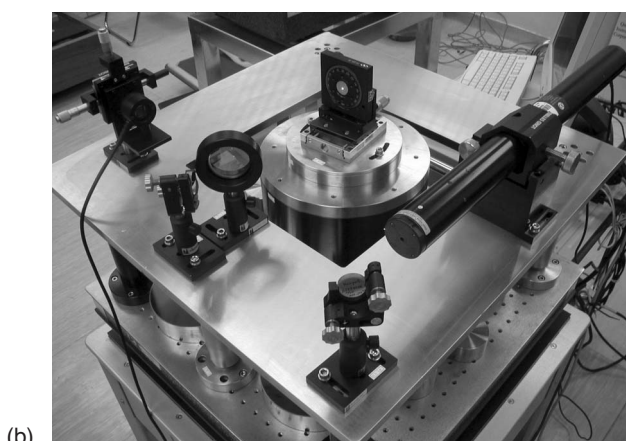
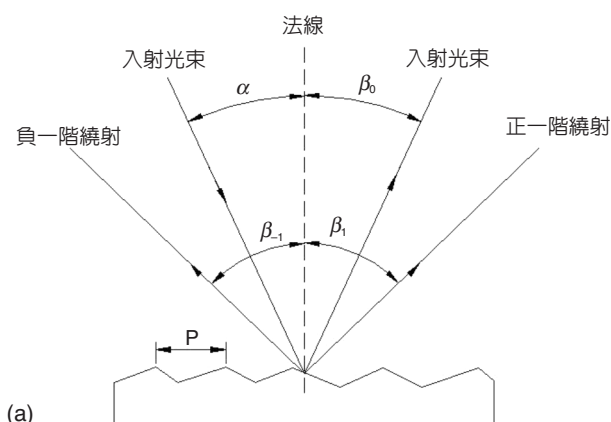


圖 5. 雷射繞射儀，(a) 反射式光柵繞射原理，(b) 雷射繞射儀照片。

三、階高量測

三維尺寸中除了二維平面外，另一項就是高度量測，半導體製造業常用接觸式探針量測儀 (如 alpha-step) 來量測蝕刻圖案中的高度變化，液晶顯示器廠商於檢測表面製程時 (如 spacer) 通常使用掃描白光干涉顯微鏡或共焦顯微鏡作為檢測設備，另外在表面形貌的量測儀如原子力顯微鏡、干涉顯微鏡 (interference microscope) 以及接觸式探針量測儀 (contact stylus instrument) 等等，這些量測儀器的縱軸量測值，必須定期使用階高標準片或深度標準片加以校正，使其追溯至 SI 單位的公尺定義。

2002 年由德國 PTB 所舉辦之階高國際比對⁽¹⁰⁾，各國採用的儀器有光學式的干涉顯微鏡、接觸式探針量測儀和原子力顯微鏡，表 1 所示為以干涉顯微鏡的部分比對結果 (20 nm、70 nm 與 800 nm)。由

表中可知包括德國 PTB、日本 NMIJ、西班牙 CEM 及荷蘭 NMI-VSL 等國家實驗室皆已建立用干涉顯微鏡作為階高校正系統，美國 NIST 也預訂於 2001 至 2004 年進行干涉顯微鏡系統之建立。

在階高標準追溯上，我們也將以光學式的干涉顯微鏡來建立階高校正系統，常用的干涉顯微鏡，干涉方法有 Michelson、Mirau 以及 Linnik 三種。其中 Michelson 干涉法是在物鏡工作距離 (working distance) 內擺放一分光鏡，兩道光分別自參考鏡與待測物表面反射後再進行干涉。Mirau 干涉法是將參考反射鏡和分光鏡都固定於物鏡裡，當光通過物鏡再經待測面反射回物鏡之後，即完成干涉。Linnik 干涉法則是使光先通過分光鏡，之後在兩分道光路上各架設一物鏡，光反射回分光鏡後進行干涉。由於物鏡的工作距離和架設之分光鏡組在空間配合上，限制 Michelson 型的放大倍率約為 10 倍以內，Mirau 型的放大倍率約為 10 至 50 倍，而 Linnik 型的放大倍率可大到 100 至 200 倍。

光學式階高校正系統所使用之量測儀器本體為韓國 SNU 公司所組裝之干涉顯微鏡 (SIS-1200)，為使干涉顯微鏡能追溯至公尺定義，將原白光光源改用紅光穩頻雷射，成為計量型干涉顯微鏡，採用干涉條紋分析法直接對階高之干涉條紋進行分析與計算⁽¹¹⁾。計量型干涉顯微鏡如圖 6(a) 所示，由計量型干涉顯微鏡擷取之干涉條紋如圖 6(b)，於同一平面中兩條紋之間距代表此二位置之高度相差了 $\lambda/2$ ，其中 λ 代表使用光源之波長。當橫向擷取標準片頂面與底面之干涉條紋後，利用弦波擬合法可求得二者之相位差，進而計算出高度差。階高高度或階深深深度在 0.01–3 μm 間之平板狀階高標準片的量測擴充不確定度為 $U_{95\%} = \sqrt{3^2 + (1.2D)^2 + (0.6\Delta D)^2}$ nm，其中 D 為階高量測值，單位為 μm ， ΔD 為階高量測值最大差距，單位為 nm。

四、膜厚量測

在半導體製造業中，準確地獲得介電材料厚度的資訊，對於半導體元件最終的性能來說，是非常重要的。隨著元件尺寸的縮小和介電層厚度的愈來愈薄，使得常用的量測分析技術的極限受到挑戰，

表 1. 階高國際比對 (20 nm、70 nm 及 800 nm)⁽¹⁰⁾。

| SH020 | Institute | Meas. | h / nm | U_c / nm | $V_{\text{eff}}(h)$ | k | $U(k=2)$ / nm | En [*]) | $ h_r $ / nm | U_r / nm |
|-------|--------------|----------|----------|------------|---------------------|-----|---------------|---------------------|--------------|------------|
| IM | CEM (IM) | 12.12.00 | 12,19 | 0,70 | 59 | 2 | 1,40 | 0,35 | 0,49 | 1,39 |
| | GUM (IM) | 07.12.01 | 20,7 | 2,4 | 9 | 2 | 4,80 | 0,00 | 0,00 | 4,80 |
| | NMIJ (IM) | 08.06.01 | 20,57 | 0,13 | 21,7 | 2 | 0,26 | 0,43 | 0,13 | 0,22 |
| | NMi-VSL (IM) | 15.11.00 | 20,24 | 0,25 | 73,0 | 2 | 0,50 | 0,88 | 0,46 | 0,48 |
| | PTB (IM) | 26.06.00 | 19,8 | 1,0 | 29 | 2 | 2,00 | 0,45 | 0,90 | 1,99 |
| | VNIIM (LHI) | 18.02.02 | 20,96 | 0,24 | 166 | 2 | 0,48 | 0,52 | 0,26 | 0,46 |
| | VNIIM (LMM) | 18.02.02 | 20,64 | 1,5 | 17 | 2 | 3,00 | 0,02 | 0,06 | 3,00 |
| SH070 | Institute | Meas. | h / nm | U_c / nm | $V_{\text{eff}}(h)$ | k | $U(k=2)$ / nm | En ^{**)} | $ h_r $ / nm | U_r / nm |
| IM | CEM (IM) | 12.12.00 | 68,87 | 0,80 | 66 | 2 | 1,60 | 0,82 | 1,34 | 1,58 |
| | GUM (IM) | 07.12.01 | 68,1 | 2,50 | 10 | 2 | 5,00 | 0,11 | 0,57 | 4,99 |
| | NMIJ (IM) | 08.06.01 | 67,29 | 0,21 | 13,7 | 2 | 0,42 | 0,50 | 0,24 | 0,33 |
| | NMI-VSL (IM) | 15.11.00 | 68,0 | 0,5 | 34 | 2 | 1,00 | 0,45 | 0,47 | 0,97 |
| | PTB (IM) | 26.06.00 | 65,4 | 1,7 | 9 | 2 | 3,40 | 0,63 | 2,13 | 3,39 |
| | VNIIM (LHI) | 18.02.02 | 68,55 | 0,25 | 233 | 2 | 0,50 | 1,45 [*]) | | |
| | VNIIM (LMM) | 18.02.02 | 68,45 | 1,25 | 67 | 2 | 2,50 | 0,36 | 0,92 | 2,49 |
| SH800 | Institute | Meas. | h / nm | U_c / nm | $V_{\text{eff}}(h)$ | k | $U(k=2)$ / nm | En ^{***)} | $ h_r $ / nm | U_r / nm |
| IM | CEM (IM) | 12.12.00 | 782,30 | 2,29 | 34 | 2 | 4,58 | 0,85 | 3,91 | 4,53 |
| | GUM (IM) | 07.12.01 | 773,7 | 3,6 | 20 | 2 | 7,20 | 0,65 | 4,69 | 7,17 |
| | NMIJ (IM) | 08.06.01 | 776,14 | 0,80 | 18,8 | 2 | 1,60 | 1,13 ^{**)} | | |
| | NMI-VSL (IM) | 15.11.00 | 778,0 | 5,2 | 23,6 | 2 | 10,40 | 0,04 | 0,39 | 10,38 |
| | PTB (IM) | 26.06.00 | 781 | 3,3 | 32 | 2 | 6,60 | 0,39 | 2,61 | 6,57 |
| | VNIIM (LHI) | 18.02.02 | 778,60 | 0,46 | 251 | 2 | 0,92 | 0,19 | 0,21 | 0,66 |
| | VNIIM (LMM) | 18.02.02 | 778,4 | 2,0 | 88 | 2 | 4,00 | 0,00 | 0,01 | 3,95 |

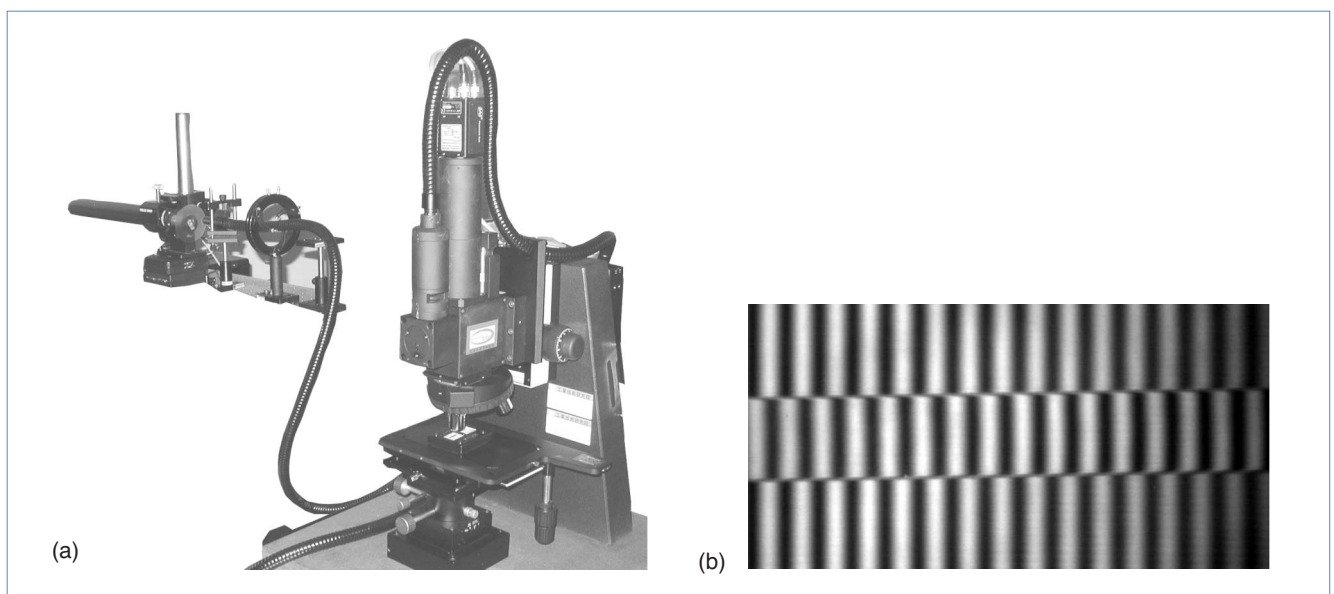


圖 6. 階高校正系統，(a) 計量型干涉顯微鏡，(b) 階高量測之干涉條紋。

而膜厚度量測技術的標準化是計量領域最大的挑戰之一。膜厚度量測可分為光學式與非光學式，使用那一種方式取決於薄膜製程方法與其應用領域，半導體製程中常使用光學式的檢測來定量分析薄膜的厚度與組成，特別是用高靈敏度的單波長橢圓偏光儀或分光式橢圓偏光儀⁽¹²⁾。橢圓偏光儀是量測經過薄膜反射後光的偏振特性的變化量，單波長橢圓偏光儀通常只適用於兩個待定參數的系統，如膜厚與折射率。分光式橢圓偏光儀可以量測不同波長下的偏振變化，實驗精度可以至數個原子層的厚度，連多層膜的厚度也能檢測。分光式橢圓偏光儀不但可以測定薄膜表面特性，利用演算模型與量測結果擬合，也可以測定內層膜特性。除此之外，薄膜表面粗糙度、表面組成以及晶格損壞等都可由不同波長的偏振變化導出，最新的分光式橢圓偏光量測術甚至可以測出材料的非等向性與磁性特性等性質。在薄膜製程中，可藉由橢圓偏光儀線上同步監控資訊與即時數據處理，訂出合金組成、多層膜厚、結晶方向、多孔性以及介質均勻性等。

隨著膜厚逐漸縮小，當厚度小於 10 nm 時，必須引入短波長的光源，如可以採用 X 射線或電子束作為光源。當使用 X 射線測試時，會同時得出包含表面與本體內部材料的整體反應，若採用 X 射線掠角反射術 (grazing angle X-ray reflectometry, GXR) 則可以直接得到表面膜厚的參數，而不需先取得在該波長條件下的材料性質。X 射線掠角反射術對於待測物表面粗糙度以及界面性質非常敏感，可以測定的膜厚範圍只有 200 nm。在 X 射線波長大約為數十奈米時，大多數材料的折射率小於一，因此存在一臨界角，當入射角度小於此臨界角時，

會發生全反射。此臨界角 θ_c 可以用 $(\rho r_e \lambda^2 / \pi)^{0.5}$ 來近似，其中 ρ 是材料的電子密度或單位體積內的電子數目， λ 是 X 射線的波長， $r_e = 2.818 \text{ fm}$ 是古典的電子半徑，其中掠角是指從樣品表面的平行面開始量起。

非光學式膜厚檢測的方法有高解析度穿透式電子顯微鏡 (HRTEM) 和掃描式電子顯微鏡 (SEM)，高解析度穿透式電子顯微鏡 (HRTEM) 可以測得包括缺陷密度、界面結構以及膜厚等至數個奈米的解析度，掃描式電子顯微鏡可以量得表面型態與結晶品質，這二種檢測方法雖然較準確，可是會破壞待測樣本來量測其斷面形狀。對於半導體產業，被測樣本是非常昂貴的，因此，高解析度穿透式電子顯微鏡通常用在最後的相互驗證。高解析度穿透式電子顯微鏡利用適當基材如矽晶格作為校正，再加上數位影像處理，可以精確地定出薄膜邊界與膜厚等資訊，其量測薄膜的重複性可小於 0.2 nm。另外有一種較先進的膜厚度量測技術，利用中能離子散射 (medium energy ion scattering, MEIS) 方法，以適當的演算模型準確的量測膜厚。當薄膜厚度愈小及元件組成日形複雜時，單一的檢測方法不足以解構出元件特性和準確的量測膜厚，可以透過二種以上的量測方法作交叉比對量測。表 2 說明各種膜厚度量測方法可以量測的參數和靈敏度。

圖 7 說明量測中心在奈米膜厚度量測技術方面的研究，在未來二年內將整合單波長橢圓偏光儀和 X 射線掠角反射儀在現有的分光式橢圓偏光儀上，可同時在這一台儀器上利用三種方法來量測膜厚及作交叉驗證，期能使量測中心最小膜厚校正能力從現有的 10 nm 往下延伸至 2 nm。

表 2.
膜厚度量測方法和靈敏度。

| Method | Probe | Information | Sensitivity |
|------------------------------|-----------|---|-------------|
| Ellipsometry | Photons | Film thickness, elemental composition, surface roughness, interface | 0.1 nm |
| TEM | Electrons | Film thickness, interface structure defect density | 0.2 nm |
| SEM | Electrons | Surface morphology, crystal quality | |
| GXR | X-rays | Film thickness, elemental density, surface roughness | 0.1 nm |
| Medium energy ion scattering | Ion | Film thickness, elemental composition, | 0.4 nm |

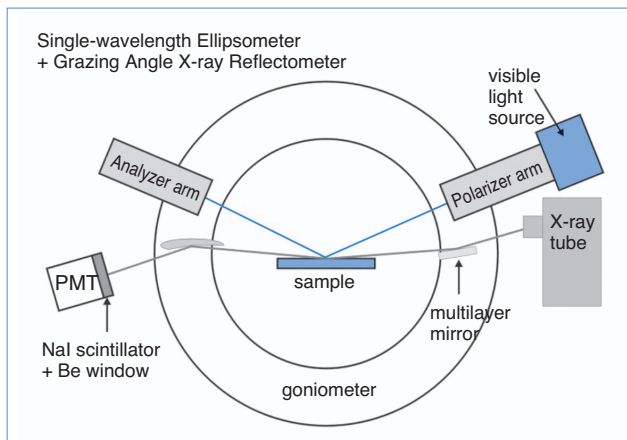


圖 7. 結合單波長橢圓偏光儀、分光式橢圓偏光儀和 X 射線掠角反射術的膜厚量測系統。

五、奈米粒徑量測

奈米粉體材料是目前在奈米技術中最多產品的項目之一，而在奈米粉體的製造過程中，顆粒大小與尺寸的分佈很難掌控，正確的量測粒徑大小也是研究奈米粉體重要的課題。市面上有許多商品化的粉體粒徑量測儀器，量測原理通常是利用粉體顆粒本身的特性或產生的物理與化學現象來分析。一般粉體粒徑量測儀器依不同的科學原理大致上可分為篩選法、沉降法、粒子計數法、超音波振盪法、電磁波交互作用和散射法等。奈米級粉體是粒徑介於 1–100 nm 之間，無法用肉眼或光學顯微鏡直接觀察。直接觀察法如藉由穿透式／掃描穿隧式電子顯微鏡 (TEM/STM) 和原子力顯微鏡的量測方式呈現粉體的幾何形貌，進而推算出粒徑的大小；特性分析法如動態光散射法 (dynamic light scattering, DLS) 和光繞射法，利用光繞射理論和布朗運動理論來分析奈米粉體粒徑和尺寸分佈的範圍。這些奈米級的粒徑分析技術因採用不同的量測原理，在量測結果上可能會有系統的誤差，很難界定出那一種特定量測技術具有絕對的量測準確性，可以透過採用二種以上的粒徑分析技術，提供量測數據與交叉驗證，以確保量測品質。

在粉體粒徑追溯上，美國 NIST 採用差分流動分析系統 (differential mobility analyzer (DMA) system)⁽¹³⁾，日本國家標準實驗室 (NMIJ) 近年來開

發了標準奈米粉體粒徑量測驗證方法—靜電力氣霧平衡法 (electrostatic aerosol balance, EAB)。這二種方式都是透過靜電力的方式作特定尺寸的粉體篩選，雖可得到較窄的粒徑分佈，但量測時間很長，較適合作標準粉體的整備。另外，這二種方法都是由靜電力大小計算所得，需用其他方法 (如 TEM) 驗證和追溯至公尺定義。

在量測奈米級粉體粒徑中，最常被用的是動態光散射法，係因其量測速度快、機型選擇性多、價格較具競爭力，製造廠商已將散射原理所涉及之複雜運算整合至系統內建軟體中，單一樣本的量測和分析時間可縮短至 3–5 分鐘，量測能力可達 5 nm 以下。動態光散射是利用雷射光射入含有粒子的溶液或懸浮氣體中，散射的雷射光會隨時間呈現散射強度的波動 (fluctuation)，而波動的產生在於微小粒子在溶液中呈現不規則的布朗運動。粒徑大的粒子運動和擴散速度緩慢，造成低頻率的擾動；粒徑小的粒子由於運動速度快，造成高頻率之擾動。通常用相關器 (correlator) 分析散射光強度的擾動訊號，可得到散射光強度的自身相關函數 (self-correlation function)。此相關函數一般呈指數衰減的曲線，衰減的快慢和粒子擴散速度有關，而擴散係數和粒徑存有一定的關係⁽¹⁴⁾。

為能快速及準確量得粉體粒徑，量測中心選用光子交叉相關法來量測粒徑，量測原理基本上是動態光散射法，差別在於其光源會先由光學鏡組分成兩道雷射光束後打在樣品槽的同一點，所以其雷射光與粒子作用後所產生的散射訊號會有兩組。這兩組訊號經由相關器的分析，找出其中相似的散射強度訊號波段，並進一步轉換成相對應的粒徑。由於兩組訊號均源自樣品槽中的同一點，其差異性將可過濾因樣品濃度過高產生的多重散射訊號，所以量測結果不受濃度高低的影響。又雷射光在樣品槽中的位置也不會影響量測的結果，因此在功能的擴充上改良了一般動態光散射法面臨的濃度與採樣位置的問題。另外為確保量測的準確性，將和工研院奈米中心的穿透式電子顯微鏡和小角度 X 射線散射儀作交叉能力試驗⁽¹⁵⁾，並尋求量得的粒徑能追溯至 SI 單位公尺定義的途徑。

六、結語

奈米尺度的量測可經由上述幾種方法將線距、階高、膜厚、粒徑等量測值追溯至 SI 單位的公尺定義，並透過國際比對達成奈米尺寸量測的國際等同性。國內不斷有新的奈米產品被研發出來，經濟部工業局為提昇國內奈米相關產品的品質和保護消費者，推行奈米標章制度，作功能性、奈米性和安全性三項的認證，供奈米產品製造商自願性認證後，可在其產品貼上奈米標章，其中奈米性即是要滿足奈米尺寸定義的要求。本文介紹的奈米量測儀器和標準追溯可提供奈米標章中奈米性的認證準則，讓所量得的結果能與國際一致。

參考文獻

1. 奈米國家型科技計畫網站, <http://nano-taiwan.sinica.edu.tw>.
 2. 奈米技術計量標準計畫, 標準檢驗局九十三年度奈米國家型計畫細部計畫書 (2004).
 3. G. Binnig, H. Rohrer, Ch. Gerber, and E. Weibel, *Appl. Phys. Lett.*, **40** (2), 78 (1982).
 4. G. Binnig, C.F. Quate, and Ch. Gerber, *Phys. Rev. Lett.*, **56** (9), 930 (1986).
 5. K. Hasche and S. Gao, et al, *Surface and Interface Analysis*, **25**, 606 (1997).
 6. F Meli and R Thalmann, *Meas. Sci. Technol.*, **9**, 1087 (1998).
 7. Chao-Jung Chen, Norbert Hofmann and Gerd Jäger, *Technische Messen.*, **69**, 483 (2002).
 8. Christopher Palmer, *Diffraction Grating Handbook*, 4th edition, Richardson Grating Laboratory (2000).
 9. 潘善鵬, 陳朝榮, 線距量測系統評估報告—雷射繞射儀 (2004).
 10. WGD-7: Preliminary Comparison on Nanometrology According to the Rules of CCL Key Comparisons, Nano 2: Step height Standards, BIPM (2003).
 11. 陳彥良, 階高標準片校正之系統評估報告—光學式 (2004).
 12. 安惠榮, 以分光式橢圓偏光儀量測膜厚之校正方法, 量測資訊, 第92期 (2003).
 13. George W. Mulholland, Nelson P. Bryner, and Carroll Groarkin, *Aerosol Science and Technology*, **31**, 39 (1999).
 14. 呂維明, 戴怡德, 粉粒體粒徑量測技術, 高立圖書有限公司 (1998).
 15. 潘善鵬, 王振宇, 陳朝榮, 姚斌誠, 奈米粉體粒徑量測能力先期試驗 (2003).
-
- 陳朝榮先生為德國伊門瑙科技大學機械工程博士，現任工業技術研究院量測技術發展中心動態工程量測研究室室主任。
 - 陳彥良先生為清華大學原子科學系碩士，現任工業技術研究院量測技術發展中心副研究員。
 - 王振宇先生為日本慶應大學機械博士，現任工業技術研究院量測技術發展中心研究員。
 - 潘善鵬先生為中華大學機械與航太工程研究所碩士，現任工業技術研究院量測技術發展中心副工程師。
 - 安惠榮女士為美國德州大學奧斯汀分校物理博士，現任工業技術研究院量測技術發展中心研究員。
 - Chao-Jung Chen received his Ph.D. in mechanical engineering from Technical University of Ilmenau, Germany. He is currently the manager of Dynamic Engineering Measurement Laboratory at the Center for Measurement Standards, Industrial Technology Research Institute.
 - Yen-Liang Chen received his M.S. in atomic science from National Tsing Hua University, He is currently an associate researcher at the Center for Measurement Standards, Industrial Technology Research Institute.
 - Chen-Yu Wang received his Ph.D. in mechanical engineering from Keio University, Japan. He is currently a researcher at the Center for Measurement Standards, Industrial Technology Research Institute.
 - Shang-Peng Pan received his M.S. in mechanical and aerospace engineering from Chung Hua University. He is currently an associate engineer at the Center for Measurement Standards, Industrial Technology Research Institute.
 - Hyeyoung Ahn received her Ph.D. in physics from the University of Texas at Austin, U.S.A. She is currently a researcher at the Center for Measurement Standards, Industrial Technology Research Institute.