

# 應用於電性掃描探針顯微鏡之前翼懸臂導電探針

## The Front-Wing Conductive Probe Applied to Electrical Scanning Probe Microscopy

張茂男、陳志遠

Mao-Nan Chang, Chih-Yuan Chen

應用於電子材料與元件特性分析的電性掃描探針顯微鏡技術已是廣為人知的奈米級電性檢測技術之一。然而，因原子力顯微鏡的雷射光束所引起的光擾影響，常導致不正確的電性影像與圖譜分析結果，這使得表面形貌與電性訊號的同步分析面臨極大的困難。具有前翼結構之探針懸臂可有效抑制光擾效應，大幅提高分析結果的準確度。本文將介紹光擾對電性掃描探針顯微鏡的影響，並舉例說明前翼懸臂導電探針在電性掃描探針顯微鏡的應用。

Electrical scanning probe microscopy (E-SPM) is one of the well-known techniques applying to the nano-characterizations of electronic materials and devices. Unfortunately, photoperturbation induced by atomic force microscopy (AFM) laser beam could lead to false E-SPM images and the related spectroscopy, resulting in many difficulties in synchronously obtaining electrical images and the corresponding AFM images. The front-wing structure of the cantilever can effectively inhibit the optical perturbation in the electrical scanning probe microscopes and obviously promote the analysis accuracy thereof. In this work, we demonstrated the influences of photoperturbation on E-SPM characterization. The applications of the front-wing conductive probe on E-SPM are also illustrated with examples.

### 一、前言

近幾年來，奈米層級的研究需求與日俱增，對量測分析工作而言，除了空間解析度需要大幅提昇之外，對待測材料的訊號感應能力也極為重要，為因應奈米科技研發的需要，以習知理論為基礎，各種極其敏銳的量測方法與工具已不斷被開發出來。

掃描探針顯微鏡技術 (scanning probe microscopy, SPM) 不但是目前奈米檢測的主流技術之一，也是輔助奈米科技發展的關鍵檢測技術之一，其特色為訊號靈敏度極高，並可提供高空間解析度的試片表面訊號。自 1982 年掃描穿隧顯微鏡 (scanning tunneling microscope, STM) 問世並用於觀測矽 (111) 面的表面形貌影像<sup>(1)</sup>，短短二十多年之間，掃描探

針顯微鏡技術已被拓展，並廣泛運用於量測分析電、光、熱、力、生、磁等各方面的表面微觀物理性質<sup>(2-4)</sup>，甚至亦可用於奈米加工與製造的領域<sup>(5)</sup>。在所有的掃描探針技術中以應用於表面形貌分析的原子力顯微鏡 (atomic force microscope, AFM) 最廣為人知，至今，原子力顯微鏡技術已儼然成為掃描探針顯微鏡的入門技術。

原子力顯微鏡在奈米級表面形貌分析的成功經驗，使得研究人員得以更廣泛利用原子力顯微鏡的基礎架構從事各種物理量的二維掃描偵測、分析與研究，也因此衍生出應用於表面磁性分析的掃描磁力顯微鏡技術 (magnetic force microscopy, MFM)<sup>(6)</sup>；應用於表面電場分布的掃描靜電力顯微鏡技術 (electrostatic force microscopy, EFM)<sup>(7)</sup>；應用於表面光學特性分析的掃描近場光學顯微鏡技術 (scanning near-field optical microscopy, SNOM)<sup>(8)</sup>；應用於表面電性分析的掃描電流顯微鏡技術 (conductive atomic force microscopy, C-AFM)<sup>(9)</sup>、掃描展阻顯微鏡技術 (scanning spreading resistance microscopy, SSRM)<sup>(10)</sup> 與掃描電容顯微鏡技術 (scanning capacitance microscopy, SCM)<sup>(11)</sup>；以及應用於表面硬度分布的原子力超音波顯微鏡技術 (atomic force acoustic microscopy, AFAM)<sup>(12)</sup>，其他還有許多以原子力顯微鏡為基本架構的掃描探針顯微鏡技術，在此不一一列舉。

就奈米級電性分析技術而言，自 1989 年 C. C. Williams 等人將掃描電容技術成功地應用於觀察半導體材料中的載子濃度分布，至今，掃描電容顯微鏡的研究與發展已經有十多年的歷史，從量測分析架構與試片製備方法到分析精確度、解析度與可靠度都已獲得明顯改進。此外，用以觀察奈米區域導通電流特性的掃描電流顯微鏡，除了一般的材料導電性質分析外，還可應用於閘極介電層的特性研究與分析，其靈敏度可達幾十飛安培 (fA)，國內外各產學研究單位亦早已購置這兩項奈米電性檢測技術的相關設備。

為了更符合下一代奈米電子元件的檢測需求，奈米電性檢測技術在研究人員的研發努力下仍持續精進，例如，國家奈米元件實驗室 (National Nano Device Laboratories, NDL) 與美國國家技術標

準局 (National Institute of Standards and Technology, NIST) 的研究先後發現<sup>(13,14)</sup>，光擾 (photoperturbation) 效應的存在明顯導致掃描電容顯微鏡的精確度與訊號強度降低，甚而使其在奈米電性檢測的應用面上受到限制，最近，光擾效應對掃描電流顯微鏡的影響也已經獲得證實，因此，對電性掃描探針顯微鏡的相關應用而言，如何有效克服光擾效應的影響便成為首要之務。本文將介紹光擾效應對電性掃描探針顯微鏡的影響，並舉例說明如何以前翼懸臂導電探針克服電性掃描探針顯微鏡的光擾問題，期使讀者能對此一分析技術的最新發展與應用現況有更深切的認識。

## 二、光擾效應對掃描電容顯微鏡的影響

在掃描電容顯微鏡的技術發展過程中，有兩項關鍵性的研究工作值得注意。其一為試片的表面處理，這方面的研究以隸屬於義大利國家研究委員會 (Italian National Research Council, CNR) 的微電子與微系統研究所 (Institute for Microelectronics and Microsystems) 最為出色。F. Giannazzo 等人的研究結果顯示，試片的表面平坦度對掃描電容顯微鏡訊號的再現性與穩定性有十分明顯的影響，揭示試片表面處理對掃描電容顯微鏡的重要性<sup>(15)</sup>。其二為光擾效應的研究，這部分的發展進程如圖 1 所示。在 2003 年隸屬於國家實驗研究院的國家奈米元件實驗室首度完整地驗證光擾效應的存在，同時直接觀察到光擾效應對矽基元件的電性界面所造成的影響，實驗室的研究小組在其研究報告中指出原子力顯微鏡的光束偏折感測機構便是光擾效應的主要來源。在 2004 年，相關研究人員進一步發展出光擾程度的定量判定方法，使得掃描電容顯微鏡的分析工作得以在相同的光擾條件之下進行，除了分析能力的提昇之外，此光擾程度的判定方法亦使得掃描電容顯微鏡首度被用於摻雜元素的活化行為分析上。2005 年前翼懸臂導電探針的發明，更使得在非光擾 (nonphotoperturbed, NP) 條件下同步取得表面形貌與微分電容訊號的理想分析模式首度獲得實現。以上各個階段的相關研究成果皆已發表於 Applied Physics Letters<sup>(13,16,17)</sup>，而前翼懸臂導電探針

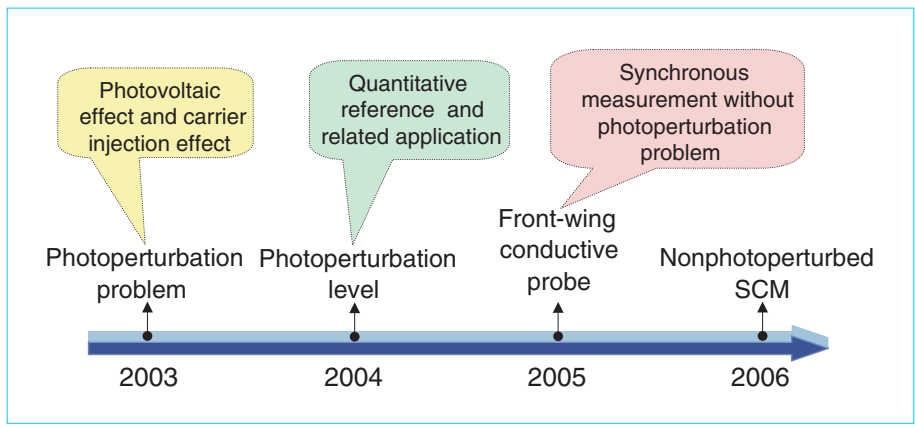


圖 1. 光擾效應的研究發展進程。

的研究成果更被選錄於 Virtual Journal of Nanoscale Science & Technology，而這也是本文所要介紹的重點之一。

由於材料表面形貌會影響掃描電容顯微鏡的分析結果，為同步取得表面平坦度與微分電容影像，掃描電容顯微鏡在進行表面電容掃描的同時，其接觸式原子力顯微鏡的光束偏折感測機制也必須同步運作。既然掃描電容顯微鏡的光擾效應源自原子力顯微鏡的光學機構，待測樣品必定對光束偏折感測機制的紅光雷射產生一定程度的光學吸收作用。由於研究過程中所用的試片皆為矽基材料，這意味著掃描電容顯微鏡在矽基元件的電性接面分析工作上，確實受到光擾效應的干擾而產生微分電容訊號的量測誤差，若要同步分析對應的表面形貌資訊，此一問題就須設法解決。

為了解光擾效應對掃描電容顯微鏡在矽基元件上的分析結果所產生的負面影響，研究小組利用實驗室的微影、離子佈植與熱處理製程設備製作出 *pn* 接面試片 (在 *N* 型基板上製作 *P* 型摻雜區域)，以直接觀察電性接面在不同光擾程度下的微分電容影像變化。圖 2(a) 與 (b) 分別為高、低光擾條件下所取得的電性接面影像，其接面寬度分別為  $W_1$  與  $W_2$ ，比較  $W_1$  與  $W_2$ ，可明顯發現  $W_1$  小於  $W_2$ ，圖 2 的結果直接證實了所掃描到的接面寬度會隨著光擾強度的增加而變窄，當光學吸收所產生的電子—電洞對，因 *pn* 接面的內建電場牽引，而分別向空乏區的兩側移動時，電洞會移向 *P* 型的方向，而電子則移向 *N* 型區域的方向，這些載子將與空間電荷相互抵消，而導致接面電位差與電場強度下降，

也因此產生較窄的 *pn* 接面影像，這就是光擾引致光電壓效應的作用結果。

圖 3 為試片縱深方向的微分電容訊號分布情形。I 區為介電層區域，因該區表面電容不隨電壓而變，所以微分電容訊號值為零。IV 區為基板區域，因光擾引起的載子注入效應，使基板區域的等效載子濃度提高，而導致測得的微分電容訊號下降。II 區為高濃度摻雜區域，根據 G. H. Buh 等人的研究結果，光擾引起的載子注入效應對高載子濃度區而言是可以忽略的，此外，雖然光電壓效應在高載子濃度區容易造成較大的等效偏壓位移，但對微分電容訊號強度而言，高載子濃度區域的微分電容訊號原本就十分微弱，所以等效偏壓位移所導致的訊號強度變化也不明顯。III 區主要為空乏區，當光擾增加時，此區域的影像對比可能會完全反相

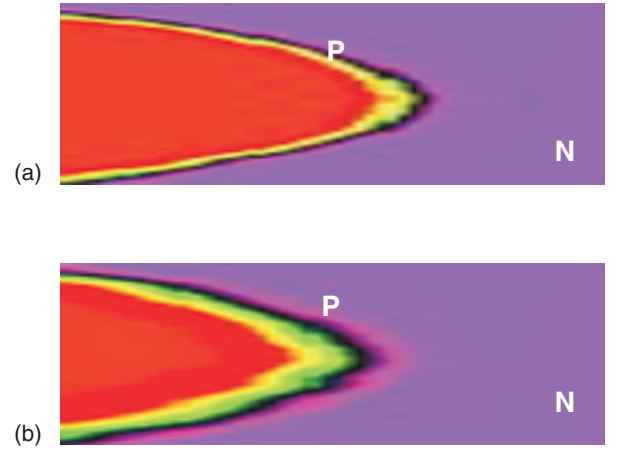


圖 2. (a) 高光擾與 (b) 低光擾條件下所測得的 *pn* 電性接面影像。

(*N* 型訊號轉成 *P* 型訊號)，導致所觀察到的 *P* 型區域呈現擴張的情形，這在矽基元件分析時，會產生電性接面深度增加與等效通道長度縮短等現象。

圖 4 為高、低光擾條件下的試片基板區域的微分電容訊號，數據顯示當光擾強度固定時，基板區域的微分電容訊號將十分穩定，所得的微分電容訊號幾乎為一定值，所以可藉由試片基板區域的微分電容訊號來建立光擾強度之參考標準，進而作為電性接面分析之訊號校準依據。由於光擾效應的本質為材料的光學吸收，因此微分電容訊號的量測結果是否受光擾效應的影響，與待測樣品的本質有關，雖然掃描電容顯微鏡在矽基元件的電性接面分析工作上，確實受到光擾效應的干擾而導致明顯的量測誤差，如接面寬度窄化、電性接面深度增加、等效通道長度縮短與微分電容訊號強度降低，但這也是促使研究人員努力改進掃描電容顯微鏡技術的主要驅動力之一。發展至今，光擾效應所引發的問題已經獲得各國相關研究人員的重視，未來的研發重心將會著重於非光擾分析技術的定量與標準化，以真正符合奈米電性檢測的應用要求。

### 三、光擾問題的因應對策

為因應光擾效應的挑戰，各種可能的解決方法相繼被各國的研究人員提出，至今，所被提出的光擾效應解決方法大約可區分為三類。其一為改變原

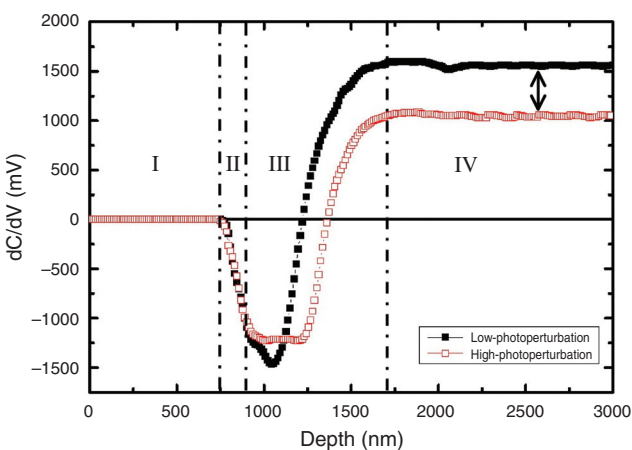


圖 3. 高、低光擾條件下，*pn* 接面試片縱深方向的微分電容訊號分布圖。

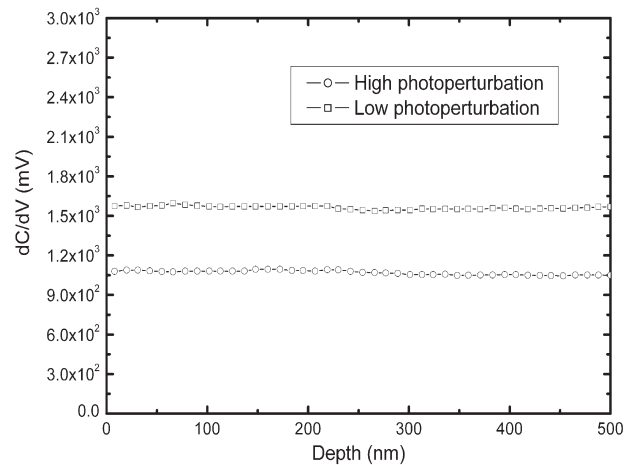


圖 4. 在高、低光擾條件下，試片基板區域的微分電容訊號都呈現相當良好的均勻性。

子力顯微鏡之成像機構。既然光擾來源為原子力顯微鏡的紅光雷射光源與待測材料對紅光的吸收，若採用長波長雷射光架構光束偏折感測機制，由於長波長雷射具有較低能量的光子，不易使待測材料產生光學吸收現象，將可有效避免光擾效應的發生，同時亦可兼顧同步取得表面形貌資訊的要求，雷射光波長愈長，所能適用的半導體材料範圍也愈廣，避免光擾效應的效果也愈佳。然而，改變雷射光源就必須面對光束偏折感測系統的架構整合問題，例如位置感測元件的規格必須配合新的雷射光源，此外，就操作面而言，新的光束校準系統也是必需的。另一個方式就是完全改變原子力顯微鏡的成像機構。根據日本最近發表的研究報告<sup>(18)</sup>，可以將微小的音叉結構放置於懸臂上，藉由音叉結構感測懸臂因試片表面形貌引起的變化，如此一來，完全不需要依賴任何光學架構即可取得試片的表面形貌，自然也就無所謂光擾問題。整體來說，不論採用何種方式，儀器的製造成本都將提高，整合後的系統穩定性也是值得關注的。其二為兩階段掃描的操作模式。此法顧名思義就是進行非同步掃描，其操作模式十分類似於靜電力顯微鏡或磁力顯微鏡技術的方式。由於要在有限的系統空間內，將原子力顯微鏡的紅光雷射束徑聚焦成遠小於 40 微米（傳統一字型懸臂的寬度）的光點有其困難，加上雜散光反射至掃描區域的問題，於是兩階段掃描的構想被提出。操作的第一階段先以接觸式原子力顯微鏡的功

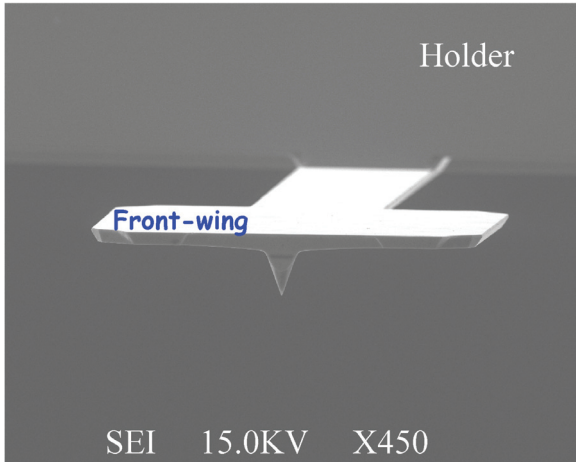


圖 5. 前翼懸臂導電探針之二次電子影像。

能取得所需的表面形貌，在第二階段將雷射光源關閉，進行微分電容訊號的掃描。此法的優點是無需改變目前常用的光束偏折感測系統，只需調整控制系統的部分功能即可。而其最大的缺點就是非同步掃描，對於奈米尺度的分析區域而言，非同步掃描的微分電容影像與表面形貌影像間，將可能存在明顯的位置偏差，因而導致分析上的困難。特別是針對掃描電容圖譜，掃描電容圖譜分析為延伸自掃描電容顯微鏡的定點分析技術，如果沒有同步影像可供參考，在定點分析時將遭遇相當大的困難。然而，隨著奈米定位系統的研發與改良，這項問題或許日後有機會獲得解決。

最後一項解決方法為前翼懸臂導電探針 (附註)。前兩項解決光擾問題的方法都是由系統的角度著眼，現在我們將問題的焦點回歸到材料的光學吸收上。要避免光學吸收的發生，除了去除光源或更換光源之外，將到達試片表面的光學路徑有效加以攔截，亦十分直接且具有其可行性。既然將雷射光侷限在懸臂寬度的範圍內有其實際的困難，就探針的觀點而言，增加懸臂的寬度則相對較為實際可行，此種做法就好比在下雨天撐傘一般。此外，由於掃描電容顯微鏡的操作模式屬接觸式掃描，因此在改變懸臂寬度時，懸臂的力常數值也要同時加以考量。

綜合以上因素，我們成功地設計出前翼懸臂導電探針，如圖 5 的掃描式電子顯微鏡照片所示，該探針可利用前翼懸臂結構阻擋直射雷射光束及抑制

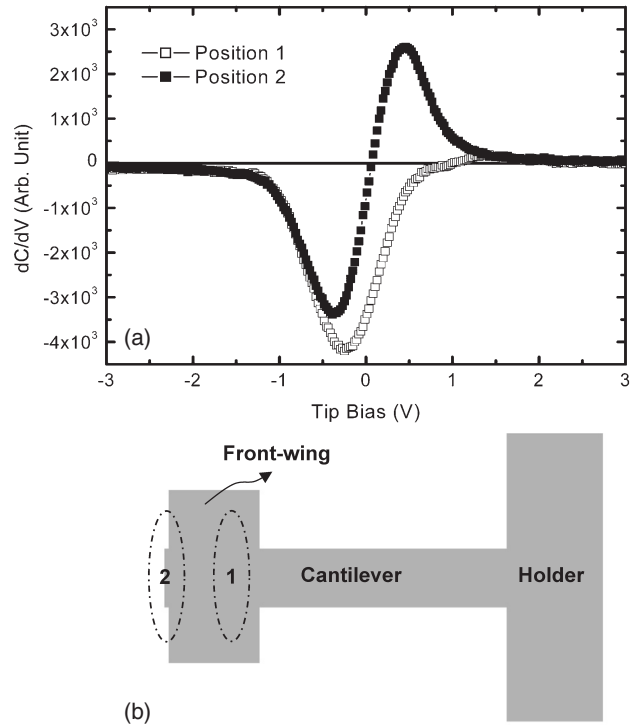


圖 6.(a) 前翼懸臂導電探針所得的微分電容圖譜，位置 1 與位置 2 分別代表雷射光點在正常操作位置與探針懸臂前緣，如 (b) 所示。

其雜散光進入試片表面的掃描區域，換句話說，前翼懸臂的主要功能即在為試片上的掃描範圍提供一個有效暗區，當光擾強度被抑制到可忽略的程度時，其測量結果便與理想狀況無異。

在討論前翼懸臂導電探針的優點之前，必須先了解如何判斷光擾的影響存在與否。先前提及的微分電容影像判斷方式，需要兩次的掃描結果進行相對的比較，由於此法需要特別的試片製備，還要考慮兩次掃描間的操作參數差異，需要依賴極熟練的操作技術與豐富的分析經驗，在實際應用上的難度較高。利用微分電容圖譜作為光擾強度的判定則相對快速、容易許多，也是目前廣受採用的可靠方法。此法以定點方式分析微分電容訊號對偏壓的變化行為，當試片受光擾作用，少數載子的生命期將會縮短，在反轉區即可測得其微分電容訊號，亦即在反轉區有無少數載子的訊號亦可作為判斷光擾是否作用的參考。圖 6(a) 為採用前翼懸臂導電探針所得的微分電容圖譜，雷射光點分別位於正常操作位置 (位置 1) 與探針懸臂前緣 (位置 2)，如圖 6(b)

所示，所用的試片為覆蓋一層薄氧化層的 *P* 型矽晶片，當雷射光點位於正常操作位置上，所得的微分電容圖譜顯示反轉區並未出現少數載子的訊號。反之，當我們刻意將雷射光點微調至探針懸臂前緣處，使部分雷射光源洩漏到掃描區域，並在此條件下測量其相應的微分電容圖譜，結果顯示反轉區的少數載子訊號十分明顯，此與傳統一字型懸臂導電探針在正常操作位置上所得結果相同，這些結果證明前翼懸臂結構確實能有效抑制光擾對微分電容訊號的影響。此外，由於光擾被有效抑制，在空乏區的微分電容訊號強度也同時明顯獲得提升，為進一步驗證前翼懸臂結構的功能，我們再以前翼懸臂導電探針實際進行 *pn* 接面的掃描。圖 7(a) 與 (b) 分別為 *pn* 接面的微分電容影像與其對應的表面形貌影像，圖 7(a) 的影像呈現清楚的 *pn* 界面寬度，而非過去在光擾影響下所得的狹窄 *pn* 界面，此外，同步取得的表面形貌影像亦十分清晰。前翼懸臂導電探針並不僅為光擾問題提出新的解決方案，更進一步的意義在於使用者可以經由耗材的選擇，避免儀器設備所產生的應用限制，對於目前許多已經擁有掃描電容顯微鏡的使用者而言，更新目前儀器設備的設計，在價格與可行性兩方面都是令人困擾的問題，而針對待測試片選擇適合的導電探針以避免光擾問題的產生，則是相當經濟實惠的作法。

#### 四、光擾效應對掃描電流顯微鏡的影響

在了解光擾效應對掃描電容顯微鏡所產生的負面影響之後，光擾效應是否也困擾著與掃描電容顯微鏡同屬奈米電性檢測技術的掃描電流顯微鏡，又是一個相當引人好奇的問題。掃描電容顯微鏡的光

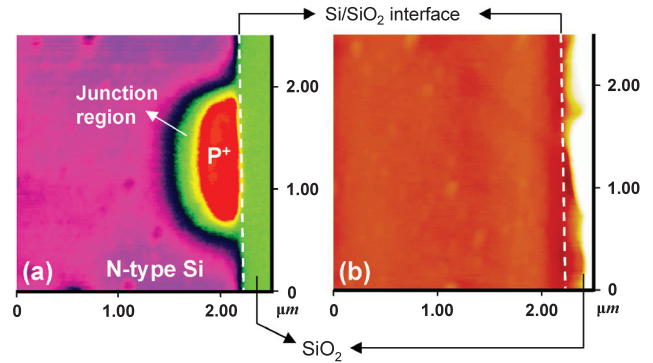


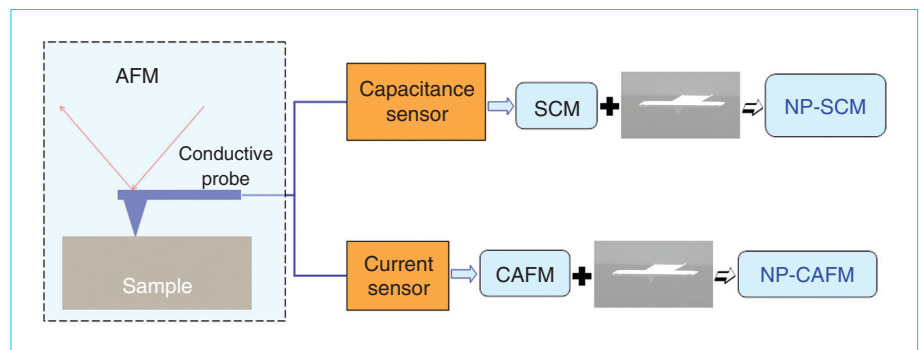
圖 7. (a) *pn* 接面的微分電容影像與 (b) 對應的表面形貌影像。

擾現象出現與否，端視樣品的掃描區域是否發生明顯的光學吸收行為而定，而光擾的來源則是原子力顯微鏡的光學機構。由於掃描電容顯微鏡與掃描電流顯微鏡皆以原子力顯微鏡架構為基礎，如圖 8 所示，兩者皆可同步提供表面形貌與電性影像，且提供表面形貌的機制亦同 (皆為光束偏折感測機制)，因此，在某一特定直流偏壓下，樣品材料的光學吸收行為如果對導通電流產生明顯的作用，掃描電流顯微鏡所測得的電流訊號必然會受到光擾的影響。理論上，在一定的外加偏壓下，試片上的介電層與空乏區都已承受固定的壓降，如果因為某些干擾因素導致空乏區的壓降改變，則介電層必然產生相應的壓降變化。就光擾而言，其產生的表面光電壓效應，可導致空乏區電壓降下降，其下降的壓降將轉嫁到介電層之上，因此將使得介電層承受更大的電壓，也因此更容易出現較大的漏電流訊號，隨著光擾程度的不同，其對掃描電流顯微鏡的影響亦不相同。

相較於掃描電容顯微鏡，要直接證明掃描電流

圖 8.

原子力顯微鏡架構與不同的電性感測元件搭配，可成為不同功能的電性掃描探針顯微鏡。



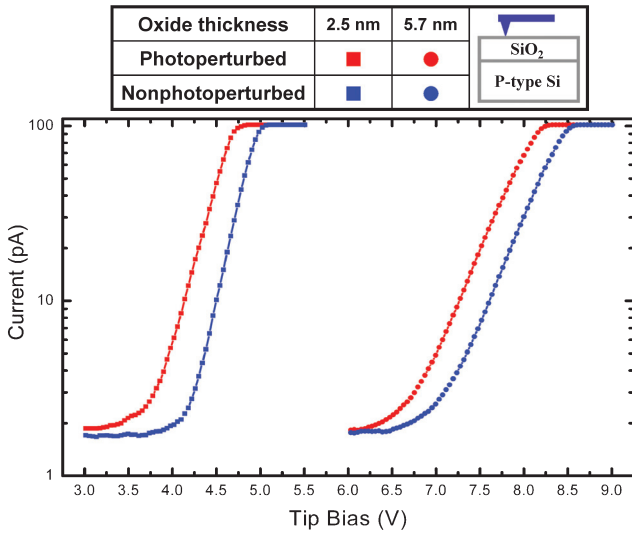


圖 9. 不同厚度的二氧化矽薄膜在光擾與非光擾量測條件下的電流－電壓曲線。

顯微鏡的光擾問題或觀察其光擾現象卻顯得困難許多，這是因為影響掃描電流顯微鏡量測的變因還包括環境因素。由於掃描電流顯微鏡的應用多以圖譜量測為主，亦即取得電流－電壓 ( $I-V$ ) 曲線為其主要目的，其次為局部電流分布影像，而環境的相對溼度干擾經常與光擾效應合併發生，導致掃描電流顯微鏡的電流－電壓曲線擾動，甚至產生曲線明顯位移，這也就是掃描電流顯微鏡的光擾問題較不易被發現與證實的原因。

由於具前翼結構的探針懸臂可在掃描區域提供一個有效暗區，使其不會在半導體試片的掃描區域上產生明顯的光學吸收現象，亦即可避免電性訊號測量分析時的光學干擾，因此，我們使用前一節提

到的前翼懸臂導電探針來驗證掃描電流顯微鏡的光擾問題。既然前翼懸臂導電探針可以提供非光擾的量測條件，我們可利用雷射光在前翼懸臂上的位置改變來產生微小的光擾程度變化，再與非光擾的量測結果比較，以分辨出光擾對掃描電流顯微鏡的影響。圖 9 為不同厚度的二氧化矽薄膜在光擾與非光擾條件下的電流－電壓曲線量測結果，圖中可清楚看出光擾對量測結果的影響。對於厚度 2.5 奈米的氧化層在光擾與非光擾條件下所測得的電流－電壓曲線，當光擾程度高時，表面光電壓的影響將使得氧化層承受較大的電壓降，因此相較於非光擾的量測條件，自然較易出現導通電流訊號。但相同的光電壓效應對於較厚的氧化層而言，顯然影響略小，因為其所造成的電場變化相對較小，所以導致的電流－電壓曲線變動也較小。

對電流分布影像而言，表面光電壓所造成的影響也非常明顯。圖 10 為厚度 2.5 奈米的二氧化矽在光擾與非光擾量測條件下的表面電流影像，由圖 (a) 與圖 (b) 的影像對比可明顯發現光電壓效應會導致較大的電流分布。雖然從另一個角度來說，亦可將光擾視為考驗介電層品質的一種方法，但是由於目前在掃描電流顯微鏡的量測上，尚無法找到定量的光擾參考標準，因此對於多片試片的比較分析工作而言，仍以非光擾技術較為可靠且具有實用性。

除了以表面電流分布影像直接分辨光擾的影響之外，利用導通電流的強度統計圖研判光擾的影響將更加清楚。針對圖 10 中各點電流強度計算其所對應的點數，可得如圖 11 所示的電流強度統計圖，比較光擾與非光擾量測條件下所得的統計曲

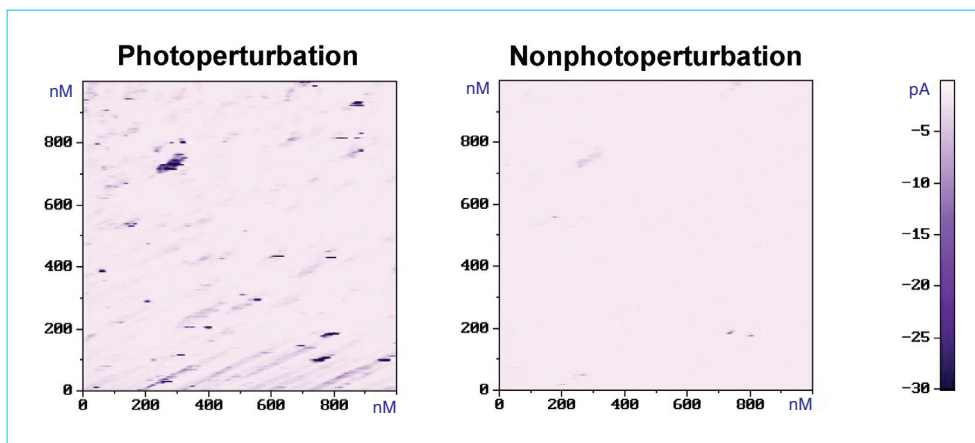


圖 10. 二氧化矽薄膜在光擾與非光擾量測條件下的表面電流影像，所使用的直流偏壓為 3.7 伏特。

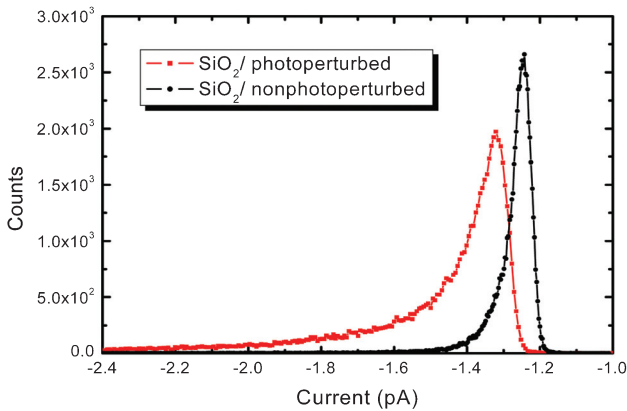
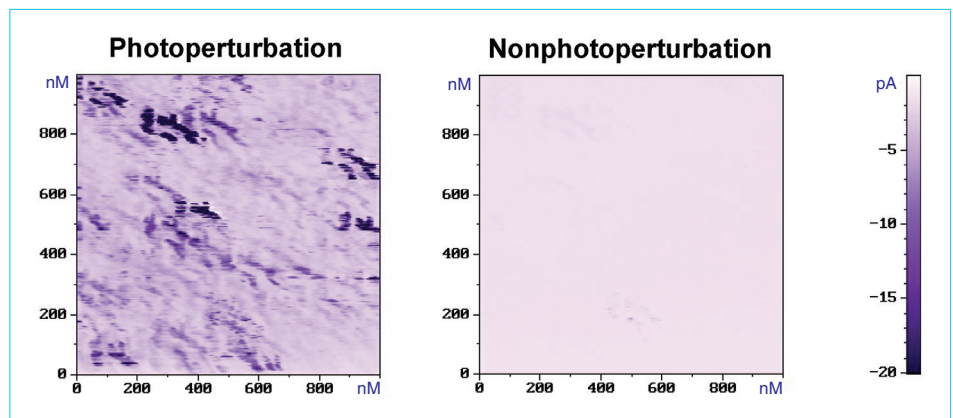


圖 11. 圖 10 中各點的電流強度統計結果，由統計曲線的半高寬變化與峰值位移情形，可以看出光擾對量測結果的影響。

線，其半高寬各約為 0.118 pA 與 0.059 pA，同時也因光擾的影響，而呈現曲線峰值往高電流位移的情形，這些結果都顯示光擾已經導致表面電流分布的明顯變化。既然已經證實光擾對掃描電流顯微鏡在薄氧化層特性分析的干擾，我們亦可利用前翼懸臂導電探針，進一步了解掃描電流顯微鏡在高介電薄膜材料的檢測上如何受光擾效應影響。

圖 12 為二氧化鈺 ( $\text{HfO}_2$ ) 薄膜在光擾與非光擾量測條件下的表面電流影像，由圖 (a) 與圖 (b) 的影像對比可明顯發現光電壓效應所導致的電流分布差異更加明顯，這是由於二氧化鈺薄膜在特性上原本就有漏電流的問題。如果針對圖 12 中各點電流強度計算其所對應的點數，可得如圖 13 所示的電流強度統計圖，比較光擾與非光擾量測條件下所得的統計曲線，其半高寬各約為 1.246 pA 與 0.13

圖 12. 二氧化鈺薄膜在光擾與非光擾量測條件下的表面電流影像，所使用的直流偏壓為 5 伏特。



pA，此一結果顯示光擾使得電流分布更不均勻，且因光擾的干擾，曲線峰值也更明顯往高電流位移。以上結果皆已證實光擾在掃描電流顯微鏡的量測分析上確有明顯影響，而前翼懸臂導電探針亦可在非光擾的檢測需求上提供相當大的助益。相關研究成果將首度發表於第三十一屆微奈米工程國際研討會 (The 31st International Conference on Micro- and Nano-Engineering (MNE 2005)，地點：奧地利，維也納)。

## 五、結論

本文簡要介紹影響電性掃描探針顯微鏡的光擾機制與相關研究發展，並舉實例說明如何以前翼懸臂導電探針解決電性掃描探針顯微鏡的光擾問題。掃描電容顯微鏡主要用於觀察矽基元件中的載子濃度分布，進而分析其電性接面，但其分析結果卻常因光擾效應而無法滿足精確度上的要求，而此光擾效應係由掃描探針顯微鏡的雷射光束所引起。由於掃描電流顯微鏡與掃描電容顯微鏡具有相同的原子力顯微鏡架構，因此，光擾問題也對掃描電流顯微鏡產生明顯的影響。雖然近兩年來，針對困擾電性掃描探針顯微鏡分析結果的光擾效應，研究人員已相繼提出各種解決之道，為建立同步觀察微分電容影像與表面形貌影像之奈米電性分析技術，兩階段掃描的方式並不合適。改變原子力顯微鏡的雷射光源或將其移除，在理論上十分可行，但實際應用於掃描電容顯微鏡還要有價格與穩定性的考量。在懸臂的探針端上加上前翼結構，能有效避免光擾效應對分析結果的影響，所以採用前翼懸臂導電探針，

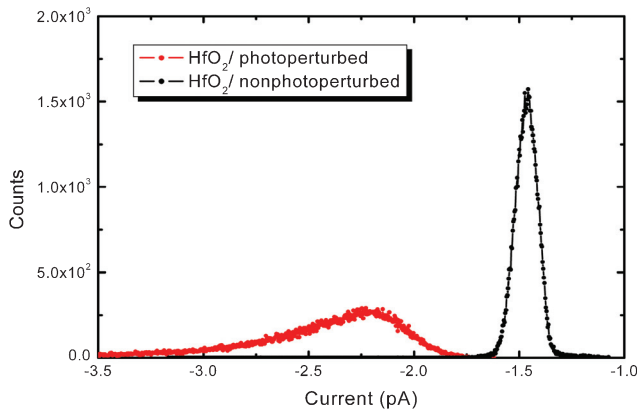


圖 13. 圖 12 中各點的電流強度統計結果，統計曲線的半高寬變化與峰值位移情形都相當明顯，顯示該介電層較易產生漏電流。

即可在現行電性掃描探針顯微鏡系統上進行非光擾微分電容影像與表面形貌的同步觀察。目前，以前翼懸臂導電探針所建構的非光擾電性掃描探針顯微鏡技術，已經可使奈米電性檢測結果較以往更為精確、穩定與可靠。筆者期盼文中所傳遞的相關資訊能對有志於奈米電性檢測技術的讀者有實質上的助益，並發揮拋磚引玉的功用，讓奈米級電性掃描探針分析技術的開發與應用更上一層樓。

## 附註

一次內灣行，決定了前翼懸臂的名稱。一個初春的上半，筆者利用難得的半天休假與大學室友「小蜜蜂」(綽號)於內灣小聚，言談間觸及困擾許久的前翼懸臂的命名問題，在清風拂面的悠閒氣氛中，飛揚的思緒忽然看到了著陸點，基於該懸臂有如機翼般的結構，在我對「翼」字的喜好與好友以「前」字潤飾之下，「前翼懸臂 (front-wing cantilever)」的中英文名稱就這樣確定了。

## 參考文獻

1. G. Binnig and H. Rohrer, *Helv. Phys. Acta*, **55**, 726 (1982).
2. C. Hoppe, J. P. Siebrasse, R. Peters, U. Kubitschek, and A. Naber, *Biophysical Journal*, **88**, 3681 (2005).
3. C. C. Williams and H. K. Wickramasinghe, *Appl. Phys. Lett.*, **49**, 1587 (1986).
4. G. Meyer and N. M. Amer, *Appl. Phys. Lett.*, **57**, 2089 (1990).
5. S. Iwanaga and R. B. Darling, *Appl. Phys. Lett.*, **86**, 133113 (2005).

6. P. Grutter, D. Rugar, and H. J. Mamin, *Ultramicroscopy*, **47**, 393 (1992).
7. H. Bluhm, A. Wadas, R. Wiesendanger, K. P. Meyer, and L. Szczesniak, *Phys. Rev. B*, **55**, 4 (1997).
8. T. Tsvetkova, S. Takahashi, A. Zayats, P. Dawson, R. Turner, L. Bischoff, O. Angelov, and D. Dimova-Malinovska, *Vacuum*, **79**, 94 (2005).
9. L. Zhang, T. Sakai, N. Sakuma, T. Ono, and K. Nakayama, *Appl. Phys. Lett.*, **75**, 3527 (1999).
10. P. De Wolf, M. Geva, T. Hantschel, W. Vandervorst, and R. B. Bylisma, *Appl. Phys. Lett.*, **73**, 2155 (1998).
11. Y. Huang, C. C. Williams, and J. Slinkman, *Appl. Phys. Lett.*, **66**, 344 (1995).
12. U. Rabe, V. Scherer, S. Hirsekorn, and W. Arnold, *J. Vac. Sci. Technol. B*, **15**, 1506 (1997).
13. M. N. Chang, C. Y. Chen, F. M. Pan, J. H. Lai, W. W. Wan, and J. H. Liang, *Appl. Phys. Lett.*, **82**, 3955 (2003).
14. G. H. Buh, J. J. Kopanski, J. F. Marchiando, A. G. Girdwell, and Y. Kuk, *J. Appl. Phys.*, **94**, 2680 (2003).
15. F. Giannazzo, F. Priolo, V. Raineri, and V. Privitera, *Appl. Phys. Lett.*, **78**, 598 (2001).
16. M. N. Chang, W. W. Wan, C. Y. Chen, and J. H. Liang, *Applied Physics Letters*, **84**, 4705 (2004).
17. M. N. Chang, C. Y. Chen, W. J. Huang, and T. C. Cheng, *Applied Physics Letters*, **87**, 023102 (2005).
18. Y. Naitou and N. Ookubo, *Appl. Phys. Lett.*, **85**, 2131 (2004).
19. M. N. Chang, C. Y. Chen, W. J. Huang, and T. C. Cheng, *Photoperturbation on Conductive Atomic Force Microscopy, 31st International Conference on Micro- and Nano-Engineering (MNE 2005)*, Austria:Vienna (2005).

- 張茂男先生為國立中央大學電機工程博士，現任國家實驗研究院國家奈米元件實驗室副研究員兼奈米量測技術組組長。
- 陳志遠先生為國立交通大學電子工程碩士，現任國家實驗研究院國家奈米元件實驗室奈米量測技術組助理研究員。
- Mao-Nan Chang received his Ph.D. in electrical engineering from National Central University. He is currently an associate researcher and a manager of Division of Nano-metrology at National Nano Device Laboratories, National Applied Research Laboratories.
- Chih-Yuan Chen received his M.S. in electronic engineering from National Chiao Tung University. He is currently an assistant researcher of Division of Nano-metrology at National Nano Device Laboratories, National Applied Research Laboratories.