

研究成果

高解析率光學顯微與微影技術

(一) 非干涉式廣視野光學測繪術

李超煌（應科中心副研究員）

光學量測技術具有非接觸、快速顯像的特性，在複合材料或生物樣本的觀測上有很好的應用價值。在目前的光學量測技術中，干涉儀是公認具有奈米縱向解析率的標準技術。然而干涉儀需使用特殊光路架構或相位掃描機制，且訊號處理程序繁複，價格也甚昂貴。應科中心李超煌副研究員成功開發一種新型光學顯微科技，稱為「非干涉式廣視野光學測繪術」[1]。該技術是將本院已申請專利的「差動共焦顯微術」之原理運用於廣視野光學切片顯微鏡上，能以一般光學顯微鏡的架構得到樣本表面奈米縱向解析率的地形圖。由於成像的光學架構與取像的元件（CCD 攝影機）皆與一般光學顯微鏡相同，「非干涉式廣視野光學測繪術」可輕易地加裝到實驗室或工廠之現有顯微鏡上。圖 1(a)是一個校正用標準片在反射光學顯微鏡下的照片，圓型區域是二氧化矽表面，週邊為二氧化鉻鍍膜，因為反射率比較低而呈暗灰色。而圖 1(b)則是用這個新技術量測出來的表面地形圖。此圖中的縱向解析率為 15 奈米，橫向解析率為 400 奈米，最大雜訊對應約 10 奈米的誤差。由圖 1(b)的剖面圖可知二氧化鉻鍍膜的厚度為 100 奈米，與校正片的規格相符，並未因反射率不同而影響高度測量的準確性。這套系統能以每分鐘約 10 張影像的速度取像，最大視野約有 150 微米，且可同時拍攝螢光影像，非常適合用在活細胞的動態觀測。目前研究人員正運用這個新技術，研究細胞膜在細胞內骨架受外力作用發生形變時的動態反應，將有助於建構以力學形式控制細胞型態和刺激細胞運動的機制。

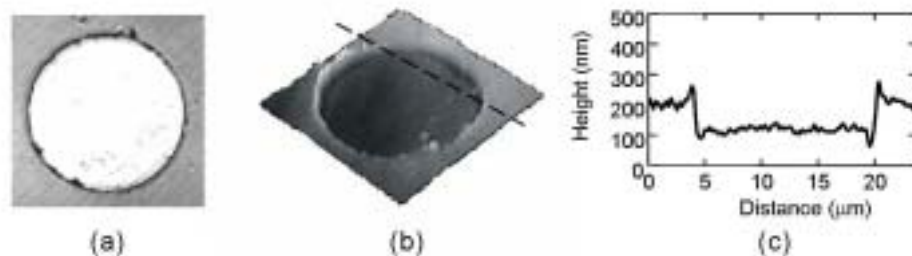


圖 1 (a) 標準片在反射光學顯微鏡下的影像。(b) 以非干涉式廣視野光學測繪術量測的地形圖。(c) 沿 (b) 中的虛線取得的剖面圖。

除此之外，「非干涉式廣視野光學測繪術」的橫向解析率，在經過簡單的影像修復運算後，也能達到 60 奈米左右，更提高該技術的應用性。這個概念是來自螢光顯微術裡常用的提高解析率的辦法：在傳統光學顯微術中，受到光波繞射的影響，影像的細微結構所產生的訊號在成像過程中損失了高頻的成分，因而難以提供小於光波長一半的橫向解析率。但若已知成像系統的點散布函數，則可利用最大可能性估計的運算，將損失的高頻成分重建回來而大幅提高橫向解析率。這種影像修復運算要在細微結構仍具高訊噪比的訊號時才能得到正確的結果，因此過去只能用於含有螢光染料標定的樣本。但是「非干涉式廣視野光學測繪術」卻能從樣本表面奈米級的高度變化就得到高訊噪比的訊號，因此不用螢光染料標定，也能得到比光波長一半、更好的橫向解析率[2]。圖 2 中的樣本是我們用電子束在光阻上所製作深度 200 奈米、直徑 100 奈米的小洞。在圖 2(c) 的修復影像上我們可以清楚地觀

察到小洞的邊緣，證明其解析率已經小於 100 奈米。以空間頻譜分析此影像得知，其橫向解析率為 53 奈米，大約是所用光波長（365 奈米）的 1/7 [3]。

本文所敘述的光學量測技術保留了光學量測技術中非接觸、快速顯像等特性，又提供了相當高的空間解析率，在學術界與產業界都有很好的應用價值。再加上它的架設與傳統光學顯微鏡完全相容，對不熟悉光學系統的人士而言，操作與維護也不困難，這項新儀器的出現對需要高解析率動態觀測的各領域研究人員會有所幫助。

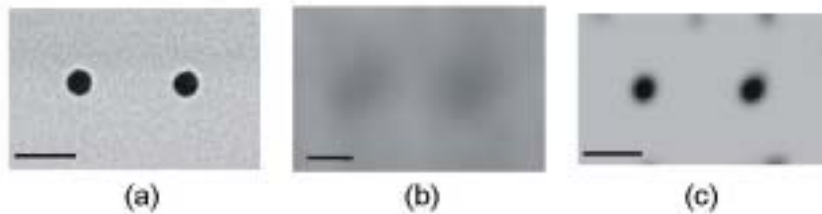


圖 2 以電子束在光阻上製作的小洞，洞的深度為 200 奈米，直徑 100 奈米。(a) 電子顯微鏡影像。(b) 以非干涉式廣視野光學測繪術量測的原始影像。(c) 經過修復運算的影像。圖中的尺度線長為 365 奈米，即拍攝影像(b)所用光源的波長。

參考資料

- [1] C.-H. Lee, H.-Y. Mong, and W.-C. Lin, Optics Letters 27, 1773-1775 (2002).
- [2] C.-H. Lee, H.-Y. Chiang, and H.-Y. Mong, Optics Letters 28, 1772-1774 (2003).
- [3] S.-W. Huang, H.-Y. Mong, and C.-H. Lee, Microscopy Research and Technique 65, 180-185 (2004).

（二）近場光學微影術

魏培坤（應科中心副研究員）

在奈米光學中，一個很重要且基本的問題為如何去觀察奈米區域的光學特性，我們知道光學顯微技術受限於繞射限制，根據 Rayleigh Criterion，它的極限為 $0.61 \lambda / \text{N.A.}$ 其中 N.A. 為數值口徑， λ 為波長，在空氣中我們所能看到的極限約為半個波長，因此在研究奈米級的光學性質時以一般的光學技術是不容易看到的。我們的研究以有別於以透鏡為主的遠場光學，利用奈米口徑產生僅存在於近場的光學衰減波 (evanescent wave)，以其所特有的高橫向波向量對奈米結構進行掃描，達到突破繞射限制的光學解析度。此類近場光學顯微術的核心為一能產生奈米光點的探針，我們發展一種終端蝕刻技術可將一般光纖蝕刻成表面光滑具有數十奈米口徑的探針[1]。目前我們結合此光纖探針與原子力顯微技術，研究光在光子晶體結構上的傳播現象與應用。

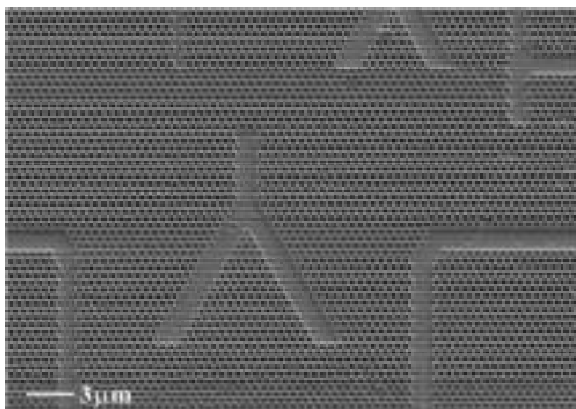


圖 3 以近場光罩微影技術在光阻上製造出的六角型二維光子晶體結構，此技術可大量製造光子晶體結構，連夾疵部分也可以被製造出來。

光子晶體為小於半波長的週期性介電質結構，此類結構會形成所謂的光子能隙 (photonic bandgap)，使光子無法穿透。光子晶體有很多應用，如取代一般光纖的光子晶體光纖，取代積體光波導之光子晶體波導，與形成雷

射的微型共振腔等，它們能提供傳統光子在塊材中所無法達到的特性。在以近場光學顯微術研究光在光子晶體結構上的傳播現象時，我們發現當光直向射入數百奈米厚的空氣/介電質結構中，會因表面繞射使光聚在介電質結構上[2]，進一步研究發現，這些光束在表面上不會散開，而是產生一種次波長的光束聚焦效應[3]，這種次波長的聚焦效應，具有高深比的特性，可以反過來應用在光罩顯影術上，大量製作光子晶體。目前光子晶體的應用主要受限於其昂貴的製造過程，由於大部分光子晶體的製造是以電子束微影為主，其不僅製造費用高，產能也相當低。我們經實驗證明，可以設計以介電質組成的光罩，在其近場產生次波長的聚焦光束，再將此光束曝在光阻上，達成光子晶體的大量製造。如附圖 3 所示，我們利用此近場光罩技術，以藍光在光阻上製造出的二維光子晶體結構，此技術不僅可以大量製造光子晶體結構，連重要的夾疵結構也可以被製造出來。目前此技術的解析度約為 $\lambda/5$ ，以 400 nm 紫光而言約可達 80 nm 的空間解析度，非常適用操作在可見光至近紅外光波段光子晶體結構之大量製造。

參考資料

- [1] P. K. Wei, Y. C. Chen, U.S. Patent 6,905,627, June 14, 2005.
- [2] P. K. Wei, Y. C. Chen, and H. L. Chou, *Journal of the Optical Society of America B* 20, 503-506 (2003).
- [3] P. K. Wei, H. L. Chou, and Y. C. Chen, *Optics Letters* 29, 433-435 (2004).