

多通道顯微膜厚度量測技術

吳智誠*、楊富翔、張玉嫻、林友崧、羅偕益、陳心怡
工業技術研究院 量測中心 儀器與感測技術發展組 先進光學檢測技術發展部

Email: JohnWu@itri.org.tw

摘要

薄膜厚度量測技術已發展多年且應用甚廣，於許多產業之品管中皆扮演極重要角色。尤其在近年來量測樣品面積變大、製程速度加快的趨勢下，快速且精準的量測變得越來越重要。而在現有的薄膜厚度量測技術中，多使用單點量測方法，要量測整個樣品的膜厚均勻性時，必須二維移動探頭或樣品，量測時間太久；再者，隨著製程技術的不斷發展，小區域之膜厚(如 Pixel size)量測、監控也日趨重要；因此，能發展出快速正確檢測大面積樣品之膜厚均勻性，並同時兼顧小區域膜厚監控之量測方法，將是產業界所急需的品管技術。

我們在量測中心建立一創新的多通道顯微膜厚度量測裝置^[1]。該裝置利用高密度通道光譜影像裝置的多通道、高光譜解析的特性^[2]，結合顯微物鏡，以一次擷取空間軸及光譜軸之多通道形式，可同時量測樣品多處位置及 pixel size 範圍內的膜厚值，具有高速量測、高精準量測的優點。

關鍵字: 多通道、顯微膜厚、光譜

1. 前言

目前產業的發展中，能否準確地量測到薄膜厚度值是足以影響產品效能好壞的關鍵之一。以平面顯示器(FPD)產業舉例，其中的彩色濾光片(Color Filter)即包含了許多膜層，例如：R,G,B color filter、PS(Photo spacer)、MVA 及 ITO 等等；其中 R,G,B color filter 主宰了色彩的表現、PS 的膜厚則影響液晶的操作表現、MVA 的膜厚更影響了液晶面板的視角表現；因此，能精確檢測各膜層的厚度及均勻性為舉足輕重的關鍵技術。而目前廣泛被使用之膜厚度量測技術為光譜反射式(Spectral reflectance)^[3]及橢偏儀式(Ellipsometry)^[4]；普遍來說，反射光譜式相較於橢偏儀式有價格便宜、架構原理較簡單的優點，而雖橢偏儀可量測之膜厚範圍和取得之量測資訊較多，但仍有價格昂貴、架構原理複雜等缺點。

本實驗室所開發之多通道顯微膜厚度量測系統，使用影像式光譜儀為主體並結合顯微物鏡(Microscopic objective)及面型 CCD 組成多通道顯微光譜儀，將探頭妥善架設及對準，可針對樣品不同的位置進行膜厚度量測，完成樣品物方視野(Field of View)內之多通道顯微膜厚度量測系統；經校正及實際測試後與現有設備進行比較，膜厚準確度 $d < 10\text{nm}$ ，膜厚重複性誤差小於 2nm ，物方視野搭配不同顯微物鏡及光路設計可量測 $10\text{-}80\mu\text{m}$ 的樣品 pattern，由此可實現同時多通道、小區域之薄膜厚度分析之功能。

2. 研究方法

2-1. 薄膜厚度量測方法

薄膜量測技術中，重要的膜層光學參數有折射率(n)、消光係數(k)以及厚度(d)。其中，由於材質的折射率為複數形式，方便起見將材質折射率的實數部與虛數部分別稱為折射率(n)與消光係數(k)。當虛數部數值(k)越大，在數學運算上光波電場衰減越多。當 $k=0$ 時，則表示為不吸收材質。如前所述，以光學技術測量材料光學參數的原理有兩大類，分別是橢偏儀式(Ellipsometry)與光譜反射式(Spectral Reflectance)，而本文主要以光譜反射式的原理作開發研究，並介紹如下。

常用的光譜反射式原理與橢偏儀式的差別在於光譜反射式的僅測量光源入射方向垂直於樣品時的反射光譜。當一寬頻光源(Broadband light source)垂直入射樣品後，膜層底面的反射光折射至空氣中，與膜層表面的反射光產生干涉(interference)，如圖 1。當兩者為同相(in phase)時，產生建設性干涉，反射率有極大值，但是當兩者為反相(out of phase)時，產生破壞性干涉，反射率有極小值，如圖 2 所示。

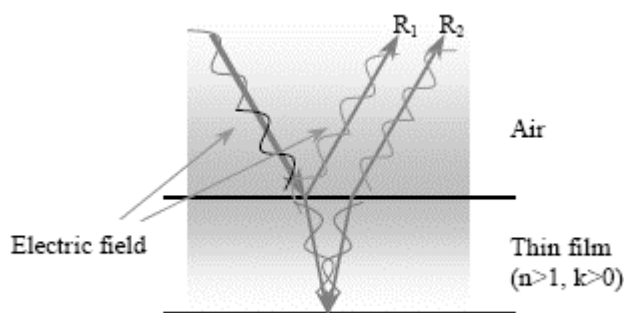


圖 1：光波干涉原理

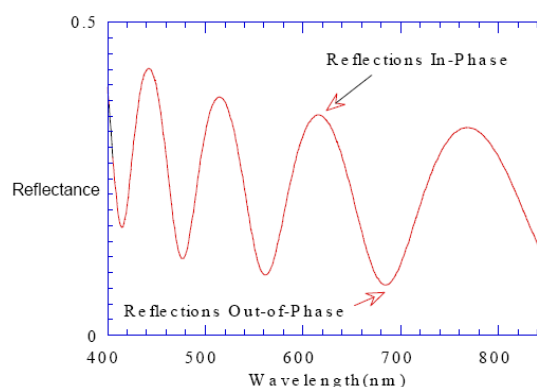


圖 2：反射光譜示意圖

由於干涉與光程差(OPD; Optical Path Difference)有關，而光程差又與膜層厚度與膜質折射率有關，且折射率為波長的函數，因此所測得的反射光譜圖以波長為座標軸來表示。在相同膜質的條件下，隨著膜層厚度的增加，反射率曲線的波峰(peak)數目增多，如圖 3；且在相同膜厚的條件下，折射率越高的膜質，其反射率曲線的波峰數目也越多，如圖 4。

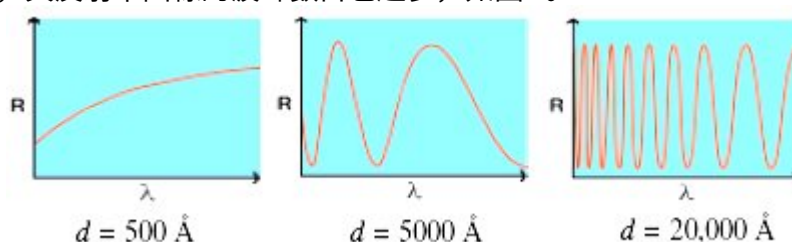


圖 3：反射光譜與膜層厚度的關係

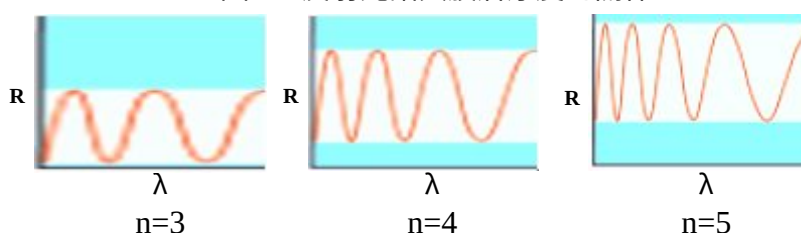


圖 4：反射光譜與膜質折射率的關係

測得膜層的反射光譜後，必須利用適當的模型來描述膜層的折射率(n)與消光係數(k)，本文所選用的模型為常見的 Cauchy dispersion equation，如式子(1)。藉由調整模型中的係數，將所得到的 n, k 值配合所估計的膜厚(d)值計算出反射光譜，並與實際測量到的光譜圖比對，如此便可求得膜層的 n, k, d 值。

Cauchy dispersion equation: $n(\lambda) = A + B/\lambda^2 + C/\lambda^4 + \dots$, $k(\lambda) = A + B/\lambda^2 + C/\lambda^4 + \dots$ (1)

2-2.多通道影像式光譜儀顯微膜厚度量測方法

影像光譜儀可同時量測線型視野內多處位置的光譜，成像在 CCD 的不同通道上，如圖 5。本文所設計的影像光譜儀如圖 6，成像顯微物鏡將不同位置發出的光收集到光狹縫後，以非球面鏡將入射光束修成近準直光，再入射穿透式繞射光柵。經光柵色散後的各波長光以透鏡會聚到 CCD 上時，由於影像光譜儀色差面的傾斜，CCD 安裝角度常很大，我們以消色差透鏡來降低此角度。設計過程中我們以 CCD 上的 spot size 大小當成 criteria，同時對物方線形視野內軸上(on-axis)及離軸(off-axis)所發出的光進行優化，波長範圍限制在 350 nm ~ 850 nm 範圍。為了得到好的影像品質，我們作了光譜影像軟體校正，包含光譜軸校正、響應度(responsivity)校正、扭曲校正等^[5,6]，經校正後的光譜解析度為 2 nm，物方空間解析度為 10 μm。本文即使用此多通道影像式光譜儀，量測委外製作之膜層樣品 (SiO₂ thin film on Si)，pattern width 為 10~80μm，樣品圖示及量測架構圖如圖 7、圖 8。

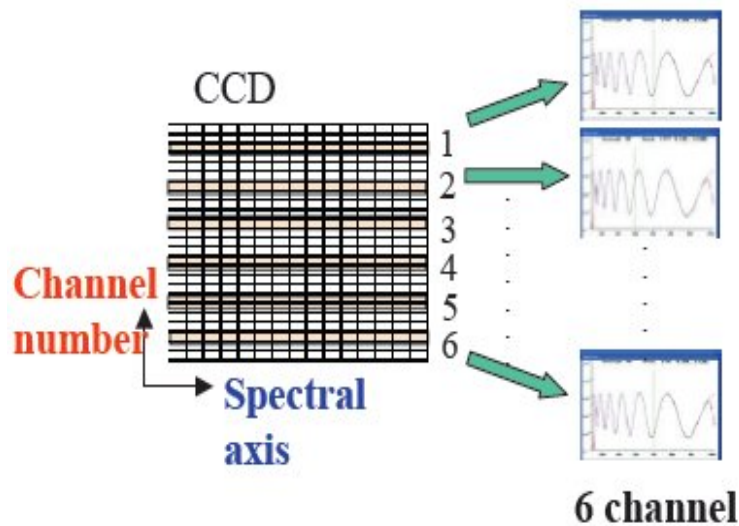


圖 5：多通道光譜成像示意圖

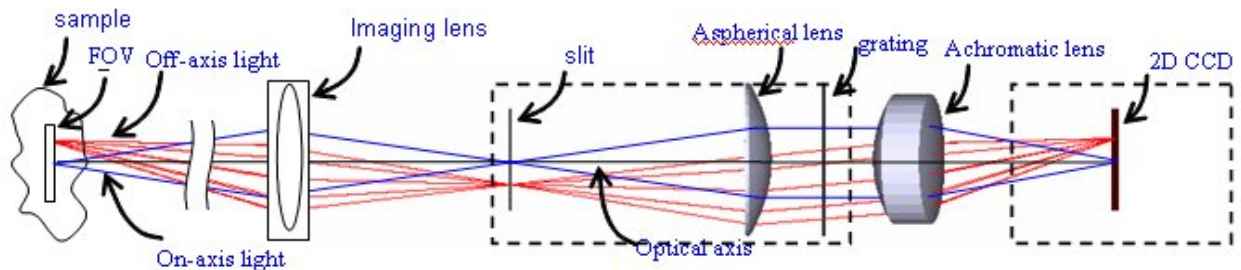


圖 6：多通道影像式光譜儀系統

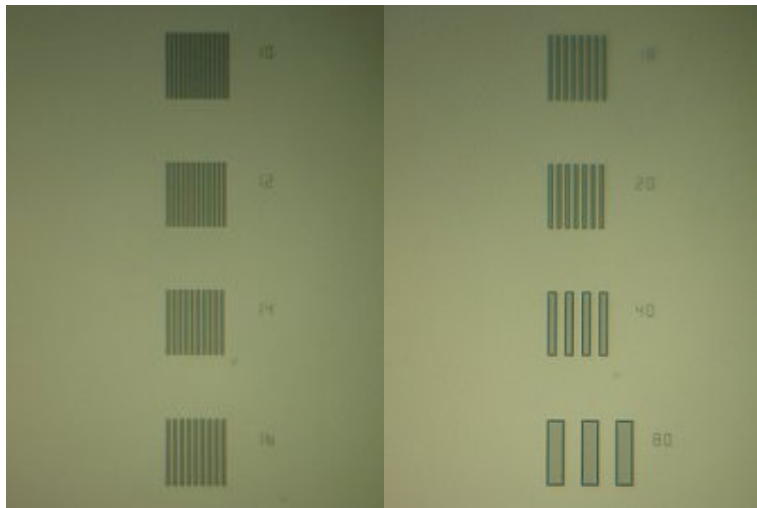


圖 7：待測樣品 pattern

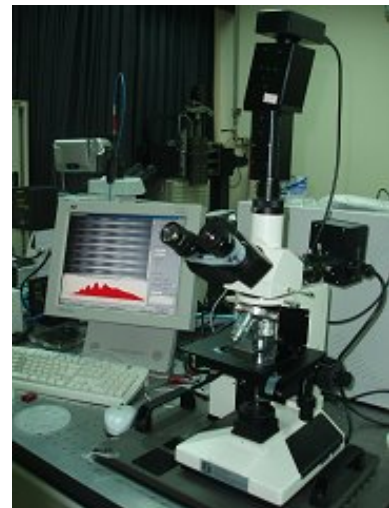


圖 8：實驗量測架構

3. 研究成果

本文量測系統將與同樣為顯微膜厚度量測系統 Mission Peak MP100-ME 作比對^[7]，且由 Mission Peak 公司所提供之可追溯至 NIST 之膜厚標準片來做驗證，以比較出本文量測系統之準確性；實驗之比對將以兩系統針對樣品的同區域作檢測，但由於 Mission Peak MP100-ME 系統一次僅能做單點的量測，因此將先以 Mission Peak MP100-ME 系統針對 20um 的樣品區域裡之 7 條長形 pattern，分別做 7 次的量測，再以本文量測系統，以 5x 顯微物鏡，同樣針對 20um 的樣品區域，一次做多通道之顯微膜厚度量測；量測比對示意圖如圖 9，量測結果比較表如表 1 所示：

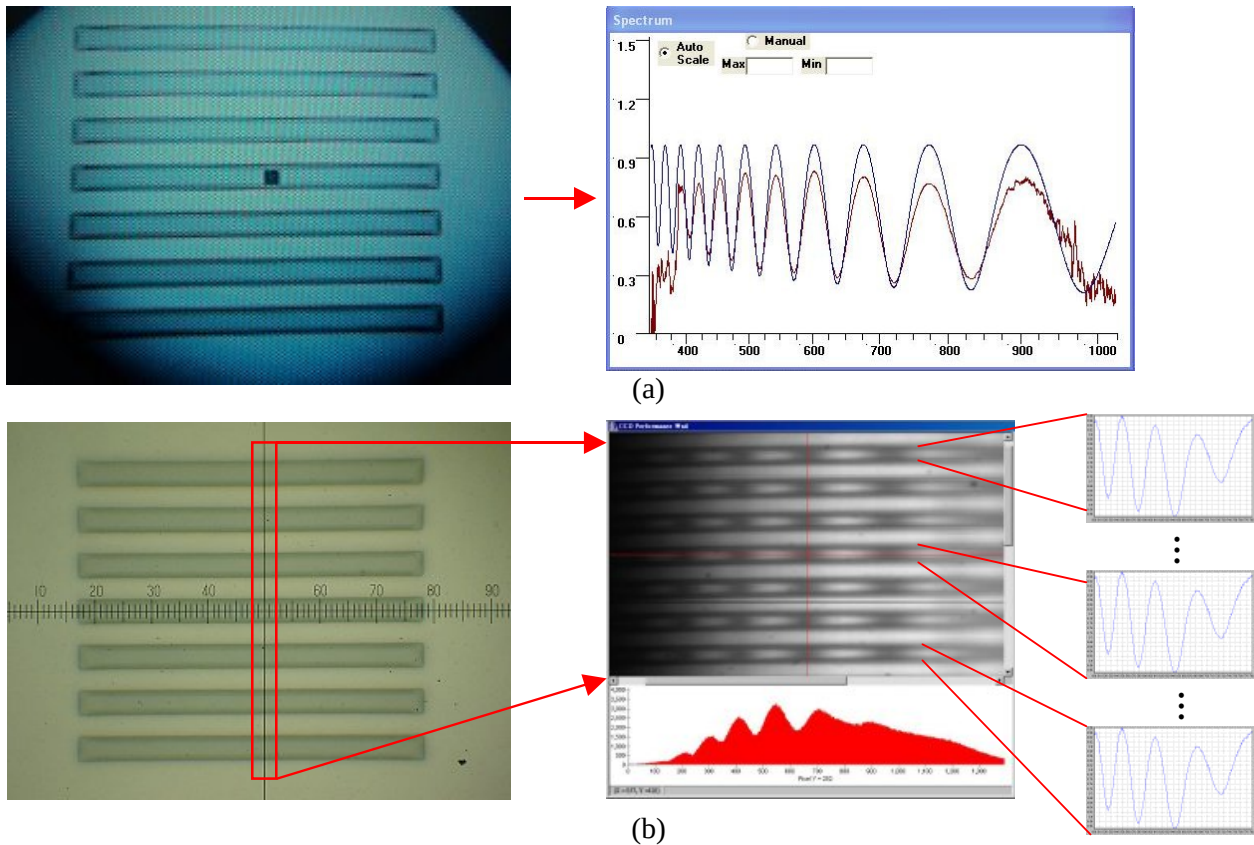


圖 9：MP100-ME(a)及 CMS 多通道顯微系統(b)量測比對圖示

表 1：MP100-ME 與本文系統量測膜厚樣品相同區域之結果比較表(5x 顯微物鏡)

	MP100-ME	CMS system	Deviation
Thin Film Thickness	d (um)	d (um)	d (nm)
Ch1	1.9069	1.9150	8.1
Ch2	1.9065	1.9151	8.6
Ch3	1.9066	1.9157	9.1
Ch4	1.9064	1.9146	8.2
Ch5	1.9067	1.9154	8.7
Ch6	1.9068	1.9156	8.8
Ch7	1.9061	1.9150	8.9

將本文量測系統換成 20x 顯微物鏡，量測 10um 之 pattern，驗證量測系統通道一致性，結果如表 2：(MP100-ME 系統之解析度無法量測 10um 之 pattern，因此無法做準確性比對)

表 2：MP100-ME 與本文系統量測膜厚樣品相同區域之結果比較表(20x 顯微物鏡)

Uniformity	d (um)	d' (nm)
CH1	1.8822	0.5
CH2	1.8817	0
CH3	1.8815	-0.2
CH4	1.8810	-0.7
CH5	1.8823	0.6
CH6	1.8817	0
CH7	1.8815	-0.2
CH8	1.8818	0.1
CH9	1.8812	-0.5
CH10	1.8825	0.8
CH11	1.8832	1.5
CH12	1.8835	1.8

4. 結論與建議

本文開發了多通道顯微膜厚度量測系統，實現同時多點之顯微膜厚度量測功能，系統厚度準確性誤差小於 10nm，各通道一致性誤差小於 2nm，由此可驗證本系統應用於顯微薄膜厚度量測之可行性；且由實驗結果可得知，除了準確性及通道一致性之量測結果足以比對 MP100-ME 系統外，系統解析度更是優於比對系統；再者，針對樣品中多點的檢測，MP100-ME 系統一次只能做單點的膜厚度量測，而本文之多通道顯微系統則依選擇之物鏡可有 5~15 通道同時量測的功能，可大大提升量測速度；由此可看出本文提出之多通道顯微膜厚度量測系統之快速檢測、高解析度、準確量測等優點。

展望未來，將以本文提出之系統為基礎，衍生出 ultra-thin film，甚至於 thick film 的顯微膜厚度量測，膜厚度量測範圍預計達到 100nm~20um；再者，透過進一步的光學設計，使光譜影像成像在 CCD 上的像差及 keystone, smile distortion 消得更小^[8]，以及透過更精準的組裝和元件 cleaning 的要求，皆能使光譜影像解析度繼續提高，進而提升量測通道的數量，以及量測的精確性及通道一致性，以更加加強本多通道顯微膜厚度量測系統的功能，並供應產業急速成長的需求。

5. 參考文獻

- [1] Hau-Wei Wang, Fu-Shiang Yang, Ding-Shiang Pan, High-density Channel Thin-film Quality Inspector, *United States Patent pending 11/469,904*
- [2] Hau-Wei Wang, Fu-Shiang Yang, High-density channel imaging spectrograph, *TWPAT I245114*
- [3] Tony Flaherty* & Gerard O'Connor, 2003, Application of Spectral Reflectivity to the Measurement of Thin-Film Thickness, *Proc. of SPIE Vol. 4876*
- [4] <http://www.unifr.ch/physics/fk/Research/Ellips.html>
- [5] D. Kolczynski, R. S. Pomeroy, R. D. Jalkian, and M. B. Denton, 1989, Spatial and spectral imaging of plasma excitation sources, *Appl. Spectr.*, 43, 887-891.
- [6] D. E. Battey and J. S. Slater, 1993, Compact holographic imaging spectrograph for process control applications, *Optical Methods for Chemical Process Control, Proc. SPIE 2069*, 60-64.
- [7] <http://www.labguide.com.tw/index.asp>
- [8] Kai-Ping Chuang, Hau-Wei Wang and Fu-Shiang Yang, 2006, Design of imaging spectrograph for improving spectral and spatial resolutions, *Proc. SPIE 6302*, 630208.