

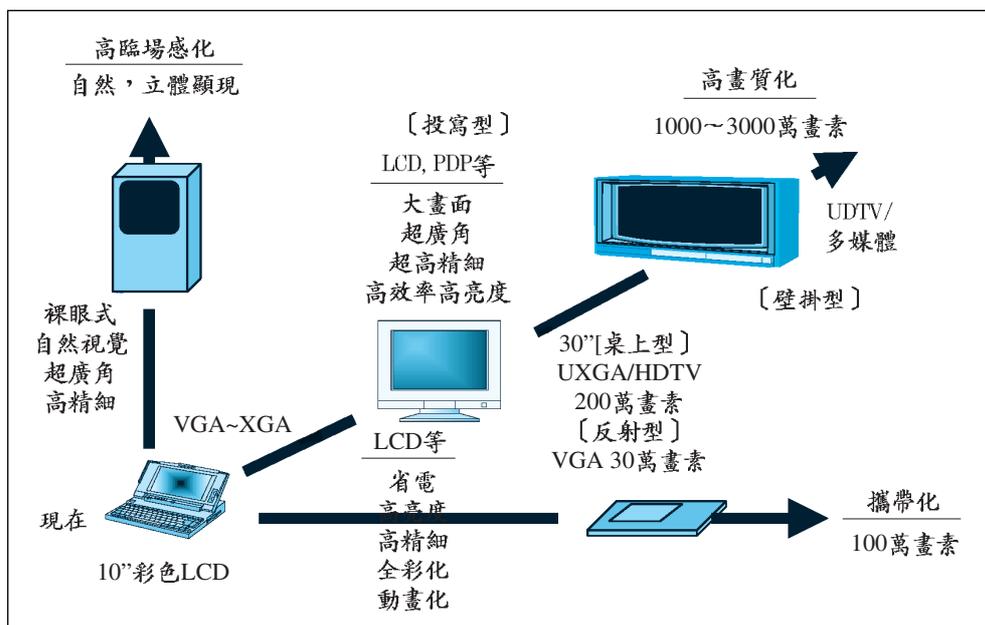
ITO透明導電膜介紹

◆ 蔡榮源

工研院光電工業研究所
光學元件部 經理

翻開人類文明歷史的演進，從早期的狩獵，進而農業，然後再進入到現今的工業社會，其變化的腳步愈來愈迅速。在短短的近幾十年內，人類科技的進步幅度完全超越了過往歷史的總合。此一現象不禁令處身於20世紀末的我們追問：21世紀會是一個什麼樣的世紀？綜合媒體的報導及產業技術的發展，個

人認為21世紀會是一個數位資訊的世紀。在這數位資訊的世紀裏，所有的影像顯示系統將完全走向數位化、多媒體化、彩色化以及立體化的多功能展現，如圖一所示^[1]。藉著這些影像顯示系統，諸如液晶顯示器(LCD)及電漿顯示器(PDP)等，人眼的視覺感受將有如置身於真實世界中。圖一為未來多媒體時代



◀ 圖一
未來多媒體
時代之
影像顯示
系統預測

表一 ITO透明導電膜的電性與產品應用範圍

面電阻 (Ω/cm^2)	應 用 產 品
< 1000	車用液晶顯示器、觸控面板、隔離電磁波玻璃
40~300	液晶手錶、家電用品液晶面板、太陽電池、攜帶式液晶電玩、量測儀器用之顯示器
15~40	液晶彩色電視、筆記型個人電腦、攜帶型個人電腦
< 10	電漿顯示器 (PDP)、EL、液晶顯示器 (LCD)、彩色濾鏡用之電極

之影像顯示系統預測。

ITO透明導電膜因其具有高透明性及良好的導電性，而被廣泛應用在液晶顯示器及電漿顯示器等影像顯示系統當作電極使用。隨著應用產品的差異，ITO透明導電膜的電特性需求也有所不同，如表一所示^[2]。由表一可知應用在液晶顯示器及電漿顯示器等影像顯示系統之ITO透明導電膜的導電性要求特別高，其表面電阻必須 $<10\Omega/\text{cm}^2$ 。除了低電阻的需求之外，其他諸如表面粗度、缺陷大小、可加工性、化學穩定性、成膜的溫度、試片大小以及製程成本等也都有所規範。表二即為應用在液晶顯示器及電漿顯示器等影像顯示系統之ITO透明導電膜的特性需求^[3]。一般而言，ITO透明導電膜的導電性隨著成膜的溫度上升而增加，主要是由於溫度的增加促成具有高導電性之結晶結構的生成^[4]。但是對於對溫度敏感之塑膠基板而言，成膜的溫度必須低於 200°C ，因此如何在低溫條件下，製作出具有高導電性及其他優良特性之ITO透明導電膜，便是目前ITO製程上一重要訴求^[5]。

表二為應用在液晶顯示器及電漿顯示器等影像顯示系統之ITO透明導電膜的特性需求。

ITO透明導電膜的製作技術有很多種，例如電子槍蒸鍍^[4, 5]、噴鍍^[6]、直流濺鍍^[7, 8]或高周波^[9]濺鍍等，其電極反應式直流濺鍍製程最具有大面積

表二 應用在液晶顯示器及電漿顯示器等影像顯示系統之ITO透明導電膜的特性需求

特性項目	需求
低面電阻	$\leq 10\Omega/\text{cm}^2$
低比電阻	$\leq 1.5 \times 10^{-4}\Omega\text{cm}$
缺陷大小	$\leq 30\mu\text{m}$
成膜的溫度	$\leq 200^\circ\text{C}$
表面	粗度愈小愈佳
高穩定性	熱、機械、化學和電化學穩定
可加工性	易精細微蝕刻
大面積	$300\text{mm}^2 \sim 450\text{mm}^2$
低成本	10%面板價格

均勻性及量產化之製程能量，因此被廣泛使用於液晶顯示器之量產製程中。為了能夠製作大面積均勻性及量產化之高品質ITO透明導電基板，相對地必須選用具有大面積、高密度(99%)與高純度(99.99%)之ITO靶材，以增加靶材的機械強度和熱傳導性，如此才能獲得較高的ITO成膜速度、較平滑的表面、較穩定的膜材品質與較低的電阻值^[10]。同時為了達到低溫成膜又不影響膜材之可見光高穿透及低電阻特性之需求，常採用低濺鍍電壓及添加氫氣或水氣氣氛之反應式直流濺鍍製程，以提升膜材的自由載子(電子)的濃度^[7, 8]。日本真空公司所開發之低濺鍍電壓($<100\text{V}$)反應式直流濺鍍製程主要是利用高磁場強度以及結合直流與高周波電源輸入的技術來達成^[8, 11]。

ITO透明導電膜除了高透明性及高導電性之要求之外，另外一個重要訴求為其蝕刻速率。在液晶顯示器及電漿顯示器等平面影像顯示系統，由於畫素的需求，ITO透明導電膜必須能夠很容易地被加以蝕刻成各種不同電路形狀。而且一般要求蝕刻速率愈快愈好，以節省製作圖樣所需時間。同時也希望能以弱酸取代傳統的強酸來做蝕刻，以避免傷及ITO電極以外之其他元件。而ITO透明導電極蝕刻速率的快慢跟其組成成份和晶體結構有很大的關係。實驗發現具非晶結構

之ITO透明導電膜的蝕刻速率比具結晶結構之ITO透明導電膜快。但正如前面所示，具非結晶結構的ITO透明導電膜的導電性比結晶結構之ITO透明導電膜的導電性差。為了克服非晶結構ITO透明導電膜之低導電性，除了採用低濺鍍電壓及添加氫氣或水氣氣氛之反應式直流濺鍍製程以外，另外一個方式便是採用添加氧化鋅(ZnO)之氧化銦(In_2O_3)當靶材，製作IZO透明導電膜。實驗發現在室溫濺鍍所得之IZO透明導電膜具非晶結構，其比電阻值為 $2.9 \times 10^{-4} \Omega\text{cm}$ ，當以0.2 M鹽酸蝕刻之速率高達 $500 \text{ nm/min}^{[12]}$ 。該厚20nm膜層之可見光平均穿透率高達95%，而且其非晶結構性能非常的穩定，即使在 350°C 基板溫度濺鍍所得膜材仍為非晶結構。

隨著平面影像顯示系統產業的發展及從市場需求來看，高透明性及良好的導電性之透明導電膜具有極佳的發展潛力。目前光是臺灣本土便有多達7家廠商各別設廠投入薄膜電晶體液晶顯示器(TFT-LCD)之量產製作，每家投入金額平均高達臺幣200億元。另外在扭轉向列型(TN)及超扭轉向列型(STN)液晶顯示器用之ITO透明導電膜的投資開發，除了原先的默克光電於去年再增設一條生產線之外，勝華科技已有兩條ITO透明導電膜的生產線提供內部需求。新加入的鈦德科技以及劍度公司也分別先後於今年投資設立一條ITO透明導電膜生產線。據估計即使上述所有廠商生產線之產能全部發揮，仍然無法滿足全世界之需求，而且未來的產業需求應該會持續增加。所以如何開發量產製作具有低成本、高透明性及良好的導電性之ITO透明導電膜，將是今後研究投資的一大重點。

參考文獻

1. 谷 干束，“Display 尖端技術”，共立出版株式會社，pp.186, (1998)。
2. 矢野經濟研究所”光學多層薄膜加工市場的實態和參入企業動向調查”，pp. 92-93 (1993)。

3. N. Ichinose (Waseda Univ.), “Material technologies for liquid crystal display devices,” *New Ceramics*, No.3, 1-4 (1995).
4. T. Oyama, N. Hashimoto, J. Shimizu, Y. Akao, H. Kojima, K. Aikawa, and K. Suzuki, “Low resistance indium tin oxide films on large scale glass substrate,” *J. Vac. Sci. Technol. A10*, 1682-1686 (1992).
5. K. Suzuki, N. Hashimoto, T. Oyama, J. Shimizu, Y. Akao, and H. Kojima, “Large scale and low resistance ITO films formed at high deposition rates,” *Thin Solid Films* 226, 104-109 (1993).
6. A. K. Saxena, S. P. Singh, R. Thangaraj, and O. P. Agnihotri, *Thin Solid Films* 117, 95 (1984).
7. S. Ishibashi, Y. Higuchi, Y. Ota, and K. Nakamura, “Low resistivity indium-tin oxide transparent conductive films. I. Effect of introducing H_2O gas or H_2 gas during direct current magnetron sputtering,” *J. Vac. Sci. Technol. A8*, 1399-1402 (1990).
8. S. Ishibashi, Y. Higuchi, Y. Ota, and K. Nakamura, “Low resistivity indium-tin oxide transparent conductive films. II. Effect of sputtering voltage on electrical property of films,” *J. Vac. Sci. Technol. A8*, 1403-1406 (1990).
9. K. Sreenivas, T. Sudersena Rao, and Abhai Mansingh, “Preparation and characterization of rf sputtered indium tin oxide films,” *J. Appl. Phys.* 57, 384-392 (1985).
10. H. Watanabe (Mitsui Mining and Smelting), “Development of sintering technology for ITO,” *Ceramics Japan* 31, 847-851 (1996).
11. US Pat. 5116479 & JP Pat. 2136413.
12. T. Minami, T. Kakumu, Y. Takeda, and S. Takata, “Highly transparent and conductive $\text{ZnO-In}_2\text{O}_3$ thin films prepared by d.c. magnetron sputtering,” *Thin Solid Films* 290-291, 1-5 (1996).