

可撓性透明導電膜

◆郭惠隆

工研院工業材料研究所

液晶與配向材料計畫 研究員兼經理

摘要

透明導電材料最大的用途是作為顯示器的基板及其觸控面板，傳統上它是在玻璃上塗佈金屬氧化物，例如銦錫氧化物而得，這種材料最大的缺點在它易碎、質重及無法適應成捲的連續製程；現今已有一些透明導電膜是以類似如高分子之可撓性材料為基材者，已在市場上流通甚久；更有甚者，新的可撓性透明導電膜連金屬氧化物之導電機制，也已被導電高分子材料取代。

關鍵詞

可撓性導電膜(Flexible Conducting Film)、透明導電膜(Transparent Conducting Film)、導電高分子(Conducting Polymer)、塑膠基材(Plastic Substrate)

前言

所謂「透明性導電膜」係指在可見光波長範圍(380~780nm)內，具有高透光性之可導電膜材料，其為現今各種電子器材不可或缺的材料之一，全世界之市場規模每年達六億美元以上（1996年），且不斷呈現高度成長。

過去這種材料都是以玻璃為基材者的天下，起源於1931年美國Corning公司的專利，當時是以四氯化錫水溶液噴到玻璃表面加熱而得，但是導電性不佳；直至60年代改以氧化錫材質的產品，導電性才獲得改善。隨後也研發出各式各

樣的金屬薄膜，但是以摻雜銦氧化物之「銦錫氧化物」(Indium Tin Oxide, ITO)成為最普遍的產品，也成為今日各式平面顯示器電極材料的基礎。

玻璃基材的透明導電材料最大缺點在於非常容易碎裂，在重量上比塑膠材質者重，且在製程上也無法以成捲的方式進行製作。具有相對應性質的可撓性透明導電膜，於1990年前後出現在市場上，但是早期的產品耐熱性低，以應用在CRT上之觸控面板為主，隨後使用Polyester、Polyethylsulfone等耐高溫透明性高分子材料為基材，使其應用範圍擴展至LCD、OLED等高利基領域。

表一 可撓性透明導電膜之基材種類與特性

聚合物		基材膜材質種類							
		PET	PEN	PC	PAR	PES	PI		
主要生產廠商		*1	帝人	*1	太平化學	ICI	Du pont	宇部	
製法		A	A	A, B	A	A	B	B	
性質		單位							
機械	厚度	μm	25	25		100		25	
	抗張強度	kg/mm ²	24	28	8	8	7	18	20
	延伸率	%	150	90	100	100	40	70	110
	楊氏係數	kg/mm ²	400	620	200	188	260	300	380
電性	介電係數 (干赫)		3.3	2.9	3.0	3.2	3.5	3.5	3.5
	破壞電壓	kV/mm	300	340	160	160		276	
耐濕性	吸水率(24h)	%	0.4	0.3	0.4	0.26	2.1	2.9	1.3
	平衡吸水率 (50RH%, 24hr)	%	0.2		0.15			1.3	1.0
	濕膨脹係數(10 ⁻⁶)		1.1	1.05	0.6		1.4	2.2	2.1
熱性質	熔點 (分解溫度)	°C	264	275	240			450(*2)	478(*2)
	連續使用溫度	°C	120	180	125	147	180	245	236
	膨脹係數		1.0	1.3	7	6.2	5.5	2.0	
耐藥品	強酸		○	○	○	○	◎	○	○
	強鹼		○	○	△	△	◎	△	△
	有機溶劑		◎	◎	△	○	△	◎	◎

註：*1=多家廠商，*2=分解；A=射出法、B=鑄型法；◎=優、○=良、△=差

(摘錄自：岡庭宏；表面技術，Vol. 45, No. 5, p. 241(1994).)

可撓性透明導電膜的種類與製作

一、基材

有機材質基板與玻璃在先天上有多樣的特性差異，其次，不同的應用對基材特性的要求也會不同。表一列舉幾種較重要的有機材質基板及其特性提供參考。以LCD的用途來說，基材的光學特性、耐熱性、尺寸安定性、平坦性等等，成為判斷能否使用的重要依據，將詳述於后。

二、透明導電材

透明性導電膜之導電機制在於與基材複合的透明性導電材質，這類的成份包括有如表二所示之有機、無機兩類材質。

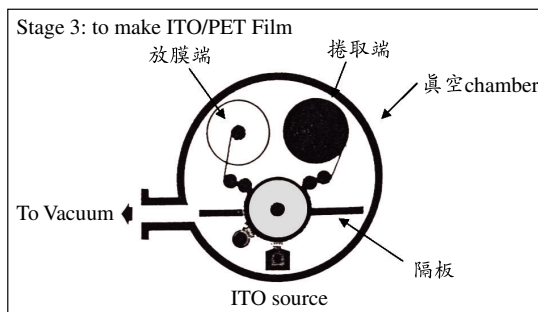
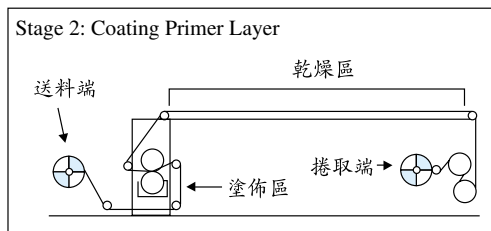
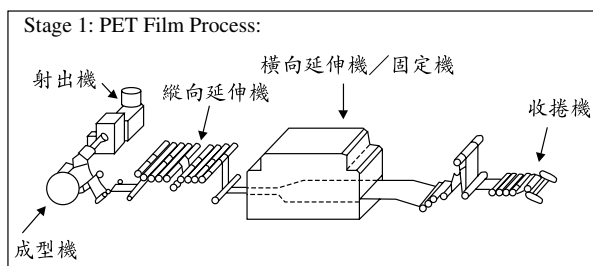
目前實用化的導電機制與材質具代表性的有高分子膜上覆有ITO者，及覆有TiO₂/Ag合金/TiO₂三層結構兩種產品。

三、製作法

將導電的機制與基材結合成為最後

表二 可撓性透明導電膜種類

種類	導電機制	導電材質
無機材料	金屬薄膜	Au, Ag, Pd, 其他合金
	複合膜	TiO ₂ /Ag/ TiO ₂ , Bi ₂ O ₃ /Au/ Bi ₂ O ₃
	氧化物半導體薄膜	In ₂ O ₃ (Sn), ZnO(Al),
有機材料	導電性高分子膜	Polypyrrole/dope FeCl ₃
	離子性複合膜	Polyethylene glycol/dope LiClO ₄
	無機填充高分子膜	In ₂ O ₃ powder/polyester resin



▲圖一 濺鍍法製作ITO/PET之程序

的透明性導電膜的方法，基本上如表三所示。

表三中1~3的方法可說是一種化學性

表三 可撓性透明導電膜製作法

製作法	詳細方法
1 印刷法	
2 塗佈法	除dipping法之外的塗佈法
3 化學蒸鍍法	CVD、電漿CVD、熱CVD
4 真空蒸鍍	加熱、電子束
5 離子植入法	RF法、微波法
6 濺鍍法	RF法、電漿、對向標靶

的製作法，而4~6的方法則為一種物理性薄膜製法；如果以操作法來看，1~2法實為塗佈成膜法，3~6法則為堆疊成長法；當使用塗佈成膜法時，通常將導電機制的部份（通常是微粒子）與溶劑、Binder調合製成Paste，塗佈完成後，加熱趕去Solvent形成薄膜；印刷法大致上也是這樣；堆疊成長法則是利用送入能量至靶材，將原子激發並堆疊至膜體表面，形成導電薄膜，以濺鍍法製作ITO/PET為例，其製作程序如圖一所示。

透明性導電膜之應用

一、傳統金屬氧化物材質之透明導電膜

透明性導電膜的用途詳如表四所述，這些用途所衍生的產品，事實上已

表五 可撓式LCD之基板特性需求與可能材質特性比較

項目	單位	要求水準	基板材質		
			PC	PAR	PES
連續使用溫度	°C	150	130	160	180
熱膨脹係數	ppm/K	≤ 50	65	60	50
熱收縮率	ppm/溫度	<pixel size/20	100/130	100/150	100/200
表面平整性	nm	≤ 10	<10	<10	<10
透光率	%	>90	90	90	87
相位差值	nm	<15	<15	<15	10
透氧度	cc/m ² .atm.day	15	15	15	---
透濕度	g/m ² .day	0.1	0.1	0.1	0.1
耐藥品	alkaline	○	○	○	○
	acid	○	△	△	○
	Acetone	○	△	○*	△
	Butylacetate	○	△	○*	△
	Alcohol	○	○	○	○

註：1.整理自Ernst Lueder(Stuart Univ.)，月刊display，p. 35，January 2001.

2.○=good，△=not good.；○*=only contact.

是我們日常生活中隨處可見的東西，其中要特別舉出來的是在平面顯示器方面的用途。以技術的觀點來看，要作為平面顯示器用的透明導電基板，至少要考慮基材的耐熱性、平整性、透明性、相位差值、隔氣（氧氣、濕氣）性等條件及最後的導電性，詳如表五所述。

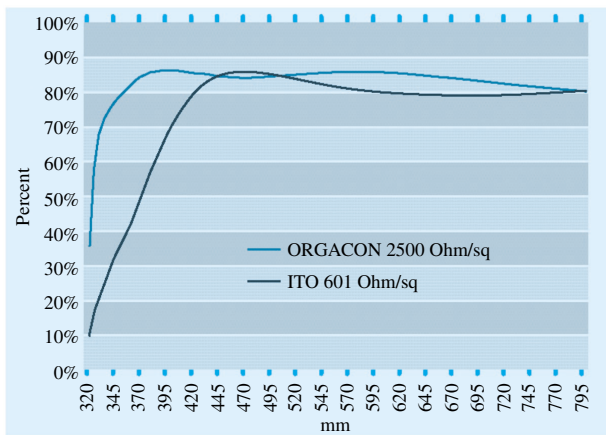
從表六的比較可以看出，若要將基材自玻璃改成高分子材料，在導電性及透光性的基本性質方面需要再加強，而高分子材質提供了較好的運送方便性及較輕（密度僅為玻璃一半或更輕）、較薄的產品可能性（玻璃基板最薄約可至0.3mm的程度，再薄下去非常難操作）；而高分子基材的機械物性、耐藥品性也是目前較弱的一環；至於透氣性，個人覺得LCD外層還有約200μm的偏光片及其最外層的保護層，應該不是最重要的特性要求。

表四 透明導電膜的主要用途

顯示元件用電極	1. LCD（液晶顯示器）
	2. OLED（有機發光二極體）
	3. PDP（電漿顯示器）
	4. EL（電致發光體）
	5. EC(電致變色材料)
	6. 觸控面板
	7. 攝像CCD
	8. photo-switch（例如PDLC）
太陽電池	1. 選擇性透過材料
	2. 光電轉換器電極
加熱電極	1. 車用防霜加熱條
	2. 航空器窗戶防霧
	3. 暖氣面板式
	4. 調理用加熱板
保護材料	1. 靜電遮蔽層
	2. 電磁波遮蔽層
	3. IC半導體元件包裝材
	4. 電器製品case

表七 AGFA's Orgacon™與金屬氧化物透明導電膜之差異比較

	AGFA's Orgacon™	金屬氧化物透明導電膜
導電機制	導電性高分子 (poly(3,4)ethylenedioxythiophene)	金屬氧化物 (ITO) (IZO)
耐彎折能力	高	低 (金屬氧化物易剝落)
線路製作方式	將不需導通的區域予以氧化deactivate	蝕刻法
線路做成後表面形狀	平坦表面 (相對)	凹凸排列
不導電區域電阻	$10^9 \sim 10^{14} \Omega$ (dependence on deactivate temperature)	$\rightarrow \infty$
蝕刻液	NaClO, $KMnO_4(aq)$	酸鹼液
目前最小有效線寬	20 μm	可小至1 μm 以下



▲圖二 AGFA's Orgacon™之穿透光譜

總體來說，基材的轉換只有在所要的特性仍然維持或更好，才有置換的可能。

二、導電高分子材質之透明導電膜

德國AGFA公司於1999年秋推出一種商品名稱為「Orgacon™」的透明導電膜，它的特色在於這是全高分子材質的產品，基材是聚酯的PET，而導電的機制是由一種導電高分子所構成，其特性及

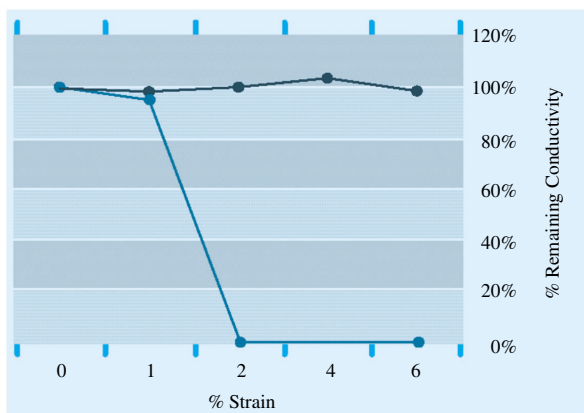
表六 可撓式透明導電膜與現有玻璃導電基板之性能比較

項目	可撓式	玻璃
表面電阻	10-1000	10-100
透光率(%)	≥ 83	≥ 85
貨樣	成捲 (1m×1000m)	單片、成疊 (固定size)
厚度(μm)	~200	700~400
耐磨擦性	△	◎
表面硬度	△	◎
可捲曲性	◎	X
耐藥品性	○	◎
耐候性	○	◎
氣體遮蔽性	X	◎
密度	1-1.4	2.3
加工性	◎	X

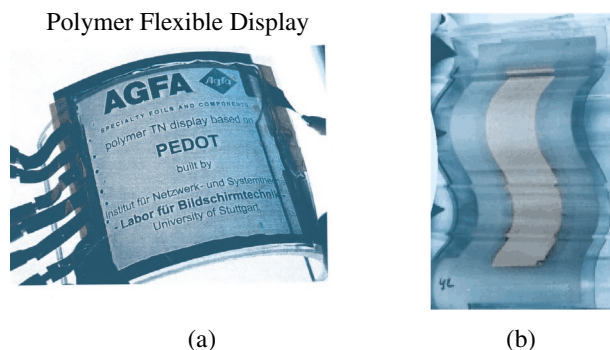
註：◎=優、○=良、△=差

整理自：條原弘信，機能材料，vol. 14, no. 12, p. 47(1994)。

與傳統ITO膜間的比較詳如表七、圖二及圖三。事實上AGFA也與鄰近的大學合作，製作出demo的Flexible LCD及



▲圖三 AGFA's Orgacon™之拉伸率測試 (淺色: ITO Film; 深色: Orgacon™)



▲圖四 (a)以Orgacon™為電極之Demo Flexible TN-LCD; (b)以Orgacon™做成之Flexible EL

Flexible EL, 如圖四所示。

結論

透明性導電膜在許多工業及商業產品上具有不可或缺的利用性，早期的基材是玻璃材質，在一些基本特性及耐環境變異性上有絕佳的優勢，但是也是因為其為玻璃，在操作產品製造時，需有特別的技巧以免破裂，尤其LCD的面板已走到0.7-0.4mm的厚度階段，更是操作者的夢魘之一；其次玻璃材質的透明導電膜只能一片片製造，無法更快速的連續製造產品，也是瓶頸之一。

可撓式的透明性導電膜提供另外的

一種解決方案，完全依據玻璃基板的缺點而來，它可以成捲製造，提供可撓性，但是基本的導電機制是金屬氧化物，其與有機材質的基板間粘著性不若原玻璃的那麼好；另外金屬氧化物本身也屬剛性材質，不耐彎折。其次，高分子材質之膜體，依其製造方式可能會產生光學上的異方性，如果要用到LCD上，便需特別選擇適當的方法避免或降低此一異方性。

AGFA公司對金屬氧化物的問題提供了使用較柔韌的導電高分子的解決方案，也針對其優點提供了demo的樣品，但是Orgacon™ Film仍然有改善的空間，例如其導電與不導電的性能差可以再提高，線寬可以再降低，如此一來它的應用空間也會擴大。

最理想的可撓式透明性導電膜，應該是有如「玻璃基板」般的可撓式的透明導電膜，此種近似矛盾的兩種特質要能同時存在一個材料上，這正是科學家需要努力的地方，況且科學上也不乏此種突破的例子。

參考資料

- 1.「透明導電膜之現狀與展望」, Toray research center, 1997。
2. AGFA's Orgacon™'s brochure.
3. 條原弘信, 機能材料, vol. 14, no. 12, p. 47(1994)。
4. 岡庭宏; 表面技術, Vol. 45, No. 5, p. 241(1994)。