

- 1.光源材料的發展提供平面光源不同的發展契機
- 2.LCD-TV背光源的發展現況—誰能勝出
- 3.場發射平面光源技術
- 4.LED光源模組發展現狀與機會
- 5.有機發光顯示器(OLED)技術發展趨勢
- 6.OLED應用於照明的發展現況
- 7.平面顯示器材料產業
- 8.背光模組導光板成型模具加工技術

盡在材料世界網 <http://www.materialsnet.com.tw>



# 第三波顯示器革命 —軟性顯示器產業的機會

翁得期\* 彭逸軒\* 王亮棠\*\*

工研院電子工業研究所

平面顯示技術組研發三部研發一課

\*製程工程師 \*\*製程副工程師

## 摘要

綜觀國際軟性顯示器的發展趨勢，各廠商已考慮以捲帶式(Roll to Roll)連續製程的方法來製作軟性顯示器降低成本，但捲帶式的設備及製程還有許多困難尚待克服，很難於短期內以全彩軟性主動顯示器攻入市場。因此，採用目前玻璃產線批式製程來開發軟性顯示器，應有較高的潛力接近市場。而塑膠基板與不銹鋼金屬薄板皆為軟性基板，其中不銹鋼金屬薄板不但價格便宜、可撓曲，還可忍受高溫的鍍膜、雷射及烘烤退火製程，更無水、氧氣會穿透下板影響顯示介質等問題，台灣若可結合國內鋼鐵產業與現有面板廠商，以不銹鋼金屬薄板當作軟性顯示器下板，將有機會率先量產軟性主動顯示器，創造新興軟電產業，在國際軟電領域搶佔領導地位。

## 關鍵詞

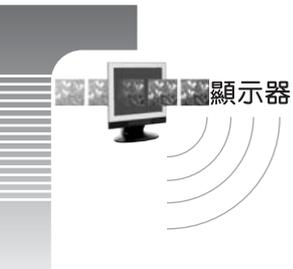
軟性顯示器(Flexible Display)、不銹鋼金屬薄板(Steel Foil)、有機發光二極體(OLED)

## 前言

### 一、顯示器的功用

顯示器除了可用來展示訊息，當作提供資訊的媒介外，同時亦有娛樂

的效果。目前市面上販售的顯示器，隨著搭配的顯示介質不同，也有不一樣的產品應用，而各個產品的市場及價值也都不同。目前常見的顯示器以薄膜電晶體液晶顯示器(TFT-LCD)和有機發光二極體(OLED/PLED)兩種居多，



其可當作手機電視、MP3、隨身碟或數位相機的全彩螢幕，如圖一所示，這些皆為目前市面上最熱門的商品，相對的產品單價亦較高。

## 二、軟性顯示器的優勢

顯示器的發展是朝向更輕、更薄及耐衝擊等特性來設計研發。日本 Toshiba 及 Seiko Epson 採取蝕刻或研磨方式將玻璃基板的厚度由 0.7mm 削薄至 0.3~0.1mm，用以製作薄型顯示器。而此時的薄型顯示器雖符合輕薄之特性，卻不耐衝擊，容易碎裂。也就是如此，才會衍生出軟性顯示器的概念。所謂軟性顯示器便是選擇可撓曲的軟性基板所製作的顯示器，能符合顯示器更輕、更薄及耐衝擊的要求。圖二為 TFT-LCD 與軟性顯示器厚度的示意

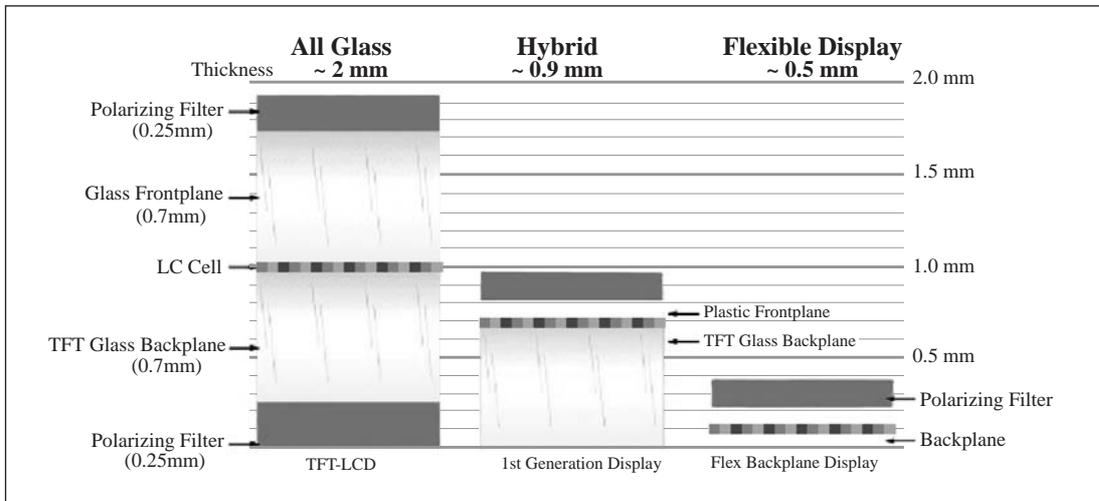
圖。以目前的 LCD 來說，上下兩片基板都是採用玻璃(0.7mm)來組裝，如果再加上偏光板，則顯示器厚度初估將達 ~2mm；若將上板的玻璃換為軟性塑膠基板，形成所謂複合顯示器(Hybrid Display)，則其厚度雖然可降低為 0.9mm，但此顯示器仍無法任意撓曲；唯有當上下玻璃基板皆以軟性基板取代時，顯示器厚度到達 ~0.5mm，才能達到可撓曲的目標。但當液晶面板撓曲時，可能因面板間距改變，導致液晶流動而無法正常顯示畫面，因此在高畫質的要求下，OLED 將更適合當作軟性顯示器的顯示介質，此時顯示器之厚度也將更薄。

另外，從技術面來看，軟性顯示器量產方式可能有批式製程(Sheet by Sheet)和捲帶式製程(Roll to Roll)兩種，圖三為示意圖。現階段面板產業皆採用批式製程的方式製作，

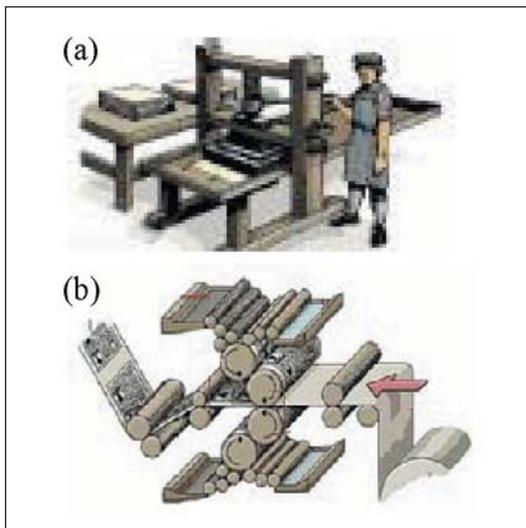
若軟性顯示器的製作亦採取批式製程，將可搭配現有的面板製程，並解決目前二代或三代面板廠將停產的問題，但最大困難點在於如何將原來承載玻璃基板的載具改為可承載軟性基板，若可解決軟性基板載具的問題，就可以進行量產。若採用捲帶式製程，則因為是新的製程與設備，製程條件需再試驗，



▲圖一 (a) Sony PSP遊戲機(b) Apple iPod (c) Samsung 手機(d) Konica 數位相機



▲圖二 TFT-LCD 顯示器及軟性顯示器厚度的示意圖



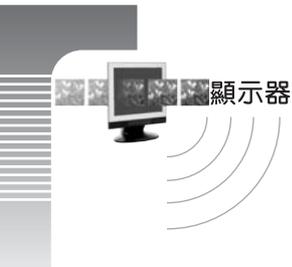
▲圖三 (a)批式(b)捲帶式製程示意圖

整個量產時程亦會延後。雖然量產軟性顯示器有許多困難待解決，但軟性顯示器質輕、易攜帶、耐衝擊、不易破碎、可捲曲及可製成不同形狀等諸多優點，逐漸成為大眾心目中的未來商品。韓國 Samsung 甚至預估到 2010 年時，軟性顯示器潛在商機將可能達

97 億美元。因此世界各先進國家之顯示器研發技術團隊，莫不致力於發展軟性顯示技術，歐洲的 FlexiDis 聯盟，美國的 USDC 聯盟，日本、韓國的顯示器大廠(Sharp、Samsung)及研究單位等，都已針對軟性顯示器之開發制訂發展藍圖，深怕失去先機。目前台灣屬工研院在軟性顯示器這方面的著力較深，工研院秉持扶助國家產業升級的概念，希望在未來的 10 年內能扶持出產值兆元的軟電產業。

### 軟性基板

目前可用於軟性基板的塑膠，其水、氧氣穿透率都大於  $10^{-3} \text{ g/m}^2/\text{day}$ ，如表一所示。當顯示介質為 OLED 時，水氣及氧氣將使發光元件裂化，壽命縮短。因此，塑膠基板表面還需經過鍍膜處理，才能達到阻水、阻氧的效果，而這也將增加許多成本。然而，



表一 塑膠基材之水、氧穿透率 (以 100 $\mu\text{m}$  之塑膠計算)

Polymer	WVTR (g/m <sup>2</sup> /day) (37.8/40°C)	OTR (cm <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> /day) (20-23°C)
Poly (Ethylene Terephthalate)(PET)	3.9-17	1.8-7.7
Poly (Ethersulfone)(PES)	14	0.04
poly (Ethylene Naphthalate)(PEN)	7.3	3.0
Polyimide(PI)	0.4-21	0.04-17
OLED Requirement	1 $\times 10^{-6}$	1 $\times 10^{-5}$ -1 $\times 10^{-3}$

WVTR: Water Vapor Transmission Rate

OTR: Oxygen Transmission Rate

塑膠除了有阻水、阻氣的問題外，其熱膨脹係數(CTE)亦偏高，在經過熱製程處理後，黃光對位會產生偏移。除此之外，目前常見的塑膠材料如 PET、PC、PEN 等，其玻璃轉化點( $T_g$ )都低於 200°C，因此必須降低製程溫度才能不損壞塑膠。如何在低的製程溫度下製作出特性佳的元件亦是一個很大的挑戰，以目前的研究顯示，低溫元

件特性之可靠度仍是問題。

除了塑膠基板之外，不銹鋼金屬薄板和超薄玻璃一樣，皆可作為軟性顯示器的基板材料。**表二**為表面經過鍍膜處理的塑膠基板、不銹鋼金屬薄板、康寧玻璃與超薄玻璃的特性比較。從表中可得知，不銹鋼金屬薄板能耐溫至 1000°C 以上，遠高於塑膠與玻璃所能承受的溫度，所以沒有耐熱的問

表二 不銹鋼薄板、塑膠基板、超薄基板與玻璃基板特性之比較

	Metal Foil	Plastic	Plastic	Plastic	$\mu$ -Glass	Glass
Substrate	SS304	PES/UC	PES/GB/UC	PEN(Vitex)	Schott	Corning 1737
Tg (°C)	$T_m > 1300$	225	225	225	725	666
CTE(ppm/°C)	17.3	55	55	55	3	3.76
OTR(cc/m <sup>2</sup> day)	0	168	0.2	10 <sup>-5</sup>	0	0
WVTR(g/m <sup>2</sup> day)	0	52	0.1	10 <sup>-5</sup>	0	0
Density(g/cm <sup>3</sup> )	7.86	1.37	1.37	1.37	2.36	2.56
Weight (g/cm <sup>2</sup> )	0.04	0.03	0.03	0.03	0.02	0.18
Thickness(mm)	0.05	0.2	0.2	0.2	0.1	0.7
Cost (NTD/cm <sup>2</sup> )	(30 $\times$ 30) 250	(30 $\times$ 40) 420	(30 $\times$ 40) 1750	(30 $\times$ 30) 3500	(10 $\times$ 10) 1500	(37 $\times$ 47) 796

UC: Under Coating

GB: Gas Barrier



題。而不銹鋼金屬薄板其 CTE 比塑膠來得接近玻璃，在製程整合上亦比塑膠材料遇到的問題來得少。最重要的一點是，不銹鋼金屬薄板根本沒有阻水、阻氣的疑慮，十分適合當做未來 OLED 軟性顯示器的基板材料，而這亦比塑膠基板減少許多需耗費在製作阻水、阻氣層的成本。另外，因為塑膠是非導體材料，未來在捲帶式(Roll to Roll)的製程中易產生靜電效應，而不銹鋼金屬薄板沒有這方面的困擾。相較之下，現階段不銹鋼金屬薄板將是軟性顯示器中一個非常好的軟板材料，但不銹鋼金屬薄板的缺點是表面粗糙度遠比塑膠基板大得多，需進行高精度平坦化製程。

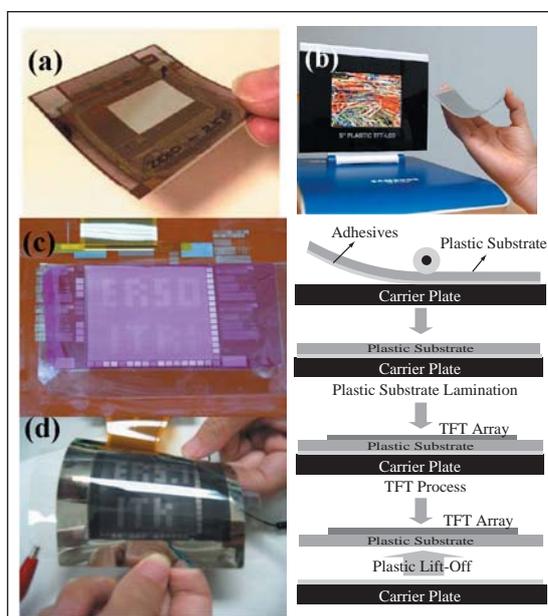
## 軟性電晶體

### 一、Si-based 軟性電晶體

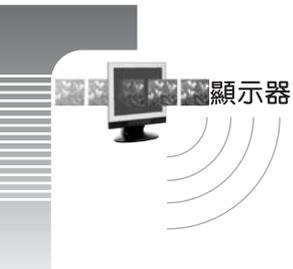
Si-based 軟性電晶體可分為非晶矽(a-Si)和多晶矽(Poly-Si)電晶體兩種。1996年，Philip 便已經以 a-Si 於塑膠基板上製作軟性電晶體，見圖四(a)。近年來 Philip 卻將主力轉到有機電晶體(OTFT)上，在 Si-based 方面 Philip 已少有發表。反倒是日本和韓國，目前對 a-Si 軟性電晶體技術抱持高度興趣，且持續研發當中。韓國 Samsung 於 2004 SID 會議中發表 2.2 吋穿透式 PES 塑膠液晶顯示器；日本 Sharp 緊接著於同年的 IDW 會議展出 3.3 吋穿透式 PES 塑

膠液晶顯示器。隔年，Samsung 又於 2005 年 USDC 會議展出 5 吋的穿透式 PES 塑膠液晶顯示器，日韓兩國相互較勁，儼然形成一場軟性顯示器競賽。雖然 Samsung 宣稱 2007 年軟性顯示器將量產，但這兩家廠商的軟性顯示器目前仍處於展覽的階段，並無量產跡象。

Si-based 軟性電晶體目前被研究的製作方法有兩大類，一類是將軟性基板固定於晶圓產線(Wafer Line)上進行電晶體製作，此法的缺點是無法大面積量產；另一類，則是將軟性基板黏貼於目前面板的玻璃產線(Glass Line)上實驗，但 Glass Line 最大的問題在



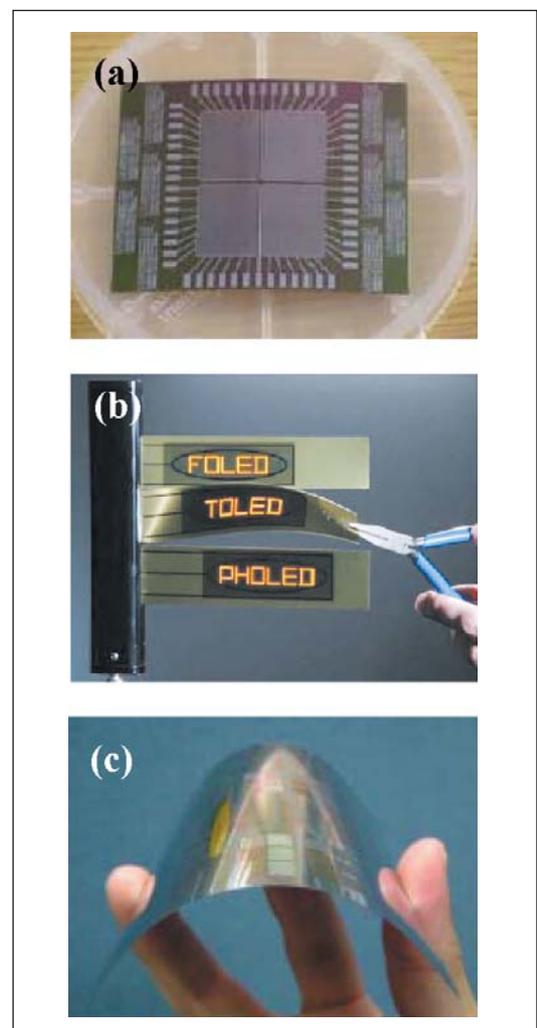
▲圖四 (a) Philip Si-based 塑膠面板 (b) Samsung 2005 年發表之 5 吋穿透式塑膠液晶顯示器及製作過程示意圖 (c) ERSO 所發表之塑膠 PDMLC 顯示器 (d) ERSO 所發表之不銹鋼金屬薄板 PDMLC 顯示器



於基板如何承載。Samsung 的製程便是採用 Glass Line，以膠材將 PES 塑膠基板整面黏貼於玻璃基板上進行 TFT 陣列的製作，但 Samsung 生產此塑膠顯示器的目的只著眼於以塑膠基板來取代玻璃基板，達到更輕薄及降低成本的要求，仍未應用到軟性顯示器可撓曲的功能。工研院電子所在軟性基板上製作 a-Si TFT 的製程方法與 Samsung 大同小異，目前已可在不銹鋼金屬薄板和塑膠基板上製作出 a-Si 電晶體，並驅動 PDMLC 和 Micro-cell LC 兩種顯示介質，如圖四(c,d)所示。而根據電子所在軟性顯示器的研發時程來看，2006 年將有機會趕上日、韓兩國，展出解析度更高的塑膠液晶顯示器。

在多晶矽軟性電晶體研究方面，其基板的選擇亦有塑膠基板和不銹鋼金屬薄板兩類。目前有關不銹鋼金屬薄板上成長多晶矽的研究，以美國的普林斯頓大學及里海大學最為積極，其中，普林斯頓大學更是全世界第一個於不銹鋼金屬薄板上製做電子元件的研究單位。里海大學這幾年來亦極為積極，已於不銹鋼金屬薄板上製作出電晶體元件，並完成了邏輯 IC、CMOS 及電路整合的研究，如圖五(a)所示。而最近美國 UDC 已於展覽中率先發表不銹鋼上的 OLED 軟性顯示器成品，見圖五(b)，也正式開啓不銹鋼軟性顯示器的時代。而多晶矽除了可在不銹鋼金屬薄板上以雷射加熱成長

外，美國 FlexICs 公司亦採用 Wafer Line 製程，在塑膠基板上以雷射加熱方法成長多晶矽，但此方法所採用的雷射能量不能過大、過久，因此有晶粒較小的問題，加上此公司於 2005 年初宣告倒閉，可見塑膠基板製程在量產上有相當的困難度。而工研院電子所目前在多晶矽軟性電晶體的製作，一樣



▲圖五 (a)里海大學的不銹鋼金屬面板 (b)UDC 不銹鋼 OLED 顯示器(c)ERSO 不銹鋼金屬面板



是採用 Glass-Line 製程，利用原本已發展的雷射結晶技術，在不銹鋼金屬薄板上進行結晶，產出的不銹鋼軟性面板如圖五(c)所示。

## 二、有機軟性電晶體

Si-based 電晶體的主動層為非晶矽或多晶矽，而 OTFT 的主動層為有機半導體，有機半導體層的材料可分為小分子和大分子兩種，小分子(Pentence)可利用蒸鍍方式沉積，而大分子可採噴墨(Ink-jet Print)或旋轉塗佈(Spin Coat)方式鍍膜，因此 OTFT 的製程溫度將可壓低到 90°C 以下，不需開發耐高溫的軟性基板搭載，亦不需進行 CVD 鍍膜，因此比 Si-based 更有機會全程以捲帶式方法製作。而目前雖然 Samsung 已於 2005 年在玻璃基板上成功製作出世界上最大尺寸的 OTFT 液晶顯示器，如圖六所示。但 OTFT 若要應用於高解析度軟性顯示器，且電晶體的作業頻率必須一樣能達到幾萬赫茲到百萬



▲圖六 Samsung 於 2005 年發表 15 吋 XGA 穿透式液晶顯示器於玻璃基板

赫茲(MHz)，製作上仍有其困難性，所以 OTFT 離商業化尚有一段努力的空間。然而，由於 OTFT 與 OLED 皆是有機材料，比起 Si-based 來說，沒有相容性的問題，所以在高階的 OLED 軟性顯示器仍有發展的空間。但以目前的現況，由於雙穩態顯示介質已可以捲帶式方法製作，若 OTFT 搭配雙穩態顯示介質，將更具有競爭力。目前美國的 Lucent Technology 與 E-ink 便已利用 OTFT 技術，成功驅動軟性顯示器；歐洲的 Philips 公司其電泳式軟性顯示器撓曲半徑亦可高達 0.5cm，如圖七所示，皆有極佳的研究成績。

## 軟性顯示器的應用

數千年前中國人發明了造紙技術，使得人類對資訊的儲存及閱讀更有效率。但不同資訊需要不同面頁來呈現，在資訊爆炸的現代，將要更多紙張才可記錄，這樣既不環保攜帶也不易。因此，為了改變人類資訊記錄與傳遞方式，類紙式軟性顯示器(Paper-like



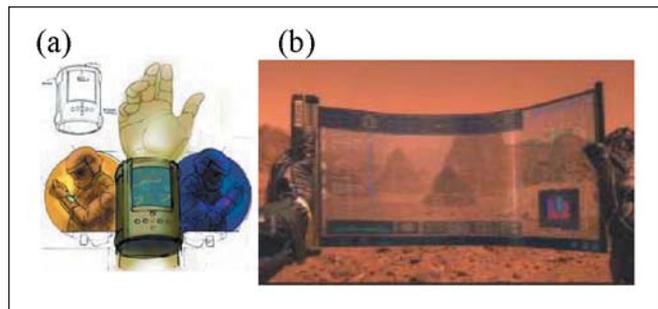
▲圖七 Philip 於 2005 年發表以 OTFT 製作的 5 吋電泳式軟性顯示器



Display)的商品概念於焉誕生。此種軟性顯示器將能像紙一般，可捲曲收放，並易於攜帶閱讀，如圖八所示。但隨著類紙式顯示器搭配的顯示介質的改變，亦將會有不同的商品應用。若為雙穩態顯示介質，則可應用於電子標籤、電子隨意貼及平面

廣告等單價較低的產品。而這類產品由於較有機會以捲帶式製作，所以OTFT或被動式下板與雙穩態顯示介質搭配將為可行的量產方案。當顯示介質為OLED時，較可能著眼發展如電子書(E-book)等需要全彩高解析度及單價高的產品。此時除了OTFT外，Si-based的軟性顯示器將有機會更早切入市場，尤其若採用不銹鋼軟板，將可降低許多成本與製程難度。

軟性顯示器除了可應用在消費產品外，美國軍方亦投入許多心力在軟性顯示器的研發上。這主要是因為單兵作戰時，美國大兵身上帶著許多通訊顯示產品，而這些設備重量過重並且攜帶不易，在野外行軍作戰移動不



▲圖九 (a)腕戴式(b)軟性地圖顯示器示意圖

便。因此若能整合顯示器、無線通訊及生醫電子於軟性顯示器上，單兵將能增加許多戰鬥力及移動力。就如圖九(a,b)所示，未來士兵將可能從腕式顯示器瞭解目前自己的位置及生理狀況，亦可由電子地圖(E-map)，瞭解地形地物。而這些軍用產品所用的軟性顯示器，由於使用環境險惡，目前研發方向偏向採取不銹鋼金屬薄板搭配OLED顯示器為主。

除此之外，目前日本廠商正逐步建立電子資訊內容配送服務體系，如：日本產經新聞社已開始新聞的電子配送服務。未來若配送服務體系健全，搭配無線傳輸，只要人手一張類紙式軟性顯示器，到哪都可隨意選取所要



▲圖八 類紙式軟性顯示器示意圖



▲圖十 電子報紙及電子傳單



▲圖十一 Sony OLED 顯示器

傳送或接收的訊息，這時將會如電影哈利波特的魔法報紙一般，會有許多活潑的全彩動畫及聲音出現，而這將產生所謂的電子報紙、電子傳單等商機，預計會節省許多紙張的耗費，如圖十，而這些產品亦為 OLED 最有機會應用的產品。另一方面，軟性顯示器除了可創造出新的產品需求，亦有機會以不銹鋼金屬薄板當作 OLED 顯示器的下板，取代目前現有的玻璃面板，於手錶、手機或者桌上型螢幕使用（圖十一），這將可降低重量及成本，而這個想法也是比較容易切入，並可以實現的目標，也將是國內面板廠商及鋼鐵產業能合作的另一個新方向。

## 結語

無線生活將產生無限的動力，21 世紀無疑的是無線的世紀。而統合上述世界各國研發軟性顯示器的廠商所著重的應用發展來看，軟性顯示器產業要有機會，除了需要面板廠支持外，資訊傳播業與電信業間的統合亦扮演

極重要的角色。也就是說，當軟性顯示器搭配無線傳輸的功能，軟性顯示器到哪都可接收所要的訊息，整個軟性顯示器市場才有可能起飛。但短期來看，由於不銹鋼金屬薄板具有諸多優點，以不銹鋼金屬薄板取代目前現有的玻璃面板並應用於 OLED

顯示器，將是可立即量產並降低顯示器重量及成本的方法。台灣國內鋼鐵產業若能結合現有面板廠商，以不銹鋼金屬薄板當作軟性顯示器下板，並掌握所有的關鍵技術，進可攻，退可守，將可率先在國際軟電領域佔據領導地位。

## 參考資料

1. <http://www.playstation.jp/psp/>
2. <http://www.apple.com/ipod/>
3. <http://www.universaldisplay.com/>
4. <http://www.lehigh.edu/optics/Documents/PDF%20Posters/Displays.pdf>
5. [http://w4.siemens.de/FuI/en/archiv/zeitschrift/heft2\\_99/artikel08/](http://w4.siemens.de/FuI/en/archiv/zeitschrift/heft2_99/artikel08/)
6. <http://www.eink.com/downloads/index.html>
7. USDC Conference, 2004
8. SID International Symposium, 2004
9. IDW Display, 2004
10. USDC Conference, 2005
11. A. Yoshida et. al., SID 03 Digest, 856, 2003
12. S. H. Won et. al., SID 03 Digest, 992, 2003
13. C. C. Wu, et. al., IEEE Electron Devices Letters, 18, 609, 1997
14. S. Wagner, et. al., IEEE Transactions on electron devices, 49, 1993, 2002.
15. 田弘隆、李宗銘，電子與材料，19 期，44 頁，2003 年。
16. 田弘隆，工業材料，195 期，156 頁，2003 年。
17. 古俊能，工業材料，195 期，120 頁，2003 年。