

# 2mm的超薄視界 「收」「放」自如 的可折顯示器

文 編輯部

將一張厚度僅有0.2公分，薄如糖果紙的塑膠膜片輕輕拉開，居然上面正在播放故宮的動畫「國寶總動員」。這不是未來情境的想像劇本，而是創新科技創造出的真實應用。

2008年是工研院軟性顯示器開花結果的一年，在研發上出現許多躍進式的突破。例如上述用來播放「國寶總動員」的主動矩陣式有機發光顯示器（AMOLED）；或是長達三公尺，世界第一的軟性膽固醇液晶顯示器；又或是具備雙穩態（bistable），不插電就可以使用，極具環保概念的軟性顯示器，都是工研院影像顯示科技中心最近發表，兼顧前瞻性及

協助台灣顯示器產業升級的重大研發成果。

伴隨網路化時代，以及電子化減少紙張使用的趨勢，要如何將現行以紙本傳遞資訊的模式電子化，卻又能保有紙張輕薄、易攜帶、閱讀舒適的優點呢？

軟性顯示器提供了一個極佳的解決之道，或許不久的將來，人類真的可以不必再大量砍伐樹木製造紙張，因為科技的貢獻，為我們延續地球生命的綠色力量，又找出了一個新的解決之道。



工研院影像顯示科技中心主任

# 程章林：軟性顯示器 也可做出清明上河圖

電子書一定得是個四方硬盒子嗎？

如果有一天，電子書螢幕能夠做到像糖果紙一樣輕薄，捲起來甚至比一根吸管還細，攜帶起來該有多便利？

在軟性顯示器產業起飛的此刻，工研院影像顯示科技中心，已製作出全世界最大的高解析度單色膽固醇液晶

(Cholesteric Liquid Crystal) 顯示器，並且

領先全球國際大廠，率先掌握突破性塑膠基板取下技術。

未來軟性顯示器將如何改變我們的生活？產生哪些新的應用？

文 陳帝鴻 攝影 黃菁慧

**現**代人每天出門的時候，身上都多少會攜帶一些資訊產品，從手機、PDA、MP3 隨身聽到筆記型電腦，在資訊爆炸時代，人們對資訊的需求無所不包，也無所不在。

受限於傳統的硬式LCD面板，目前的資訊產品若要做到輕薄短小，像手機一樣放進口袋裡，必定會在資訊顯示量上受到限制；若要一次顯示大量資訊，好比筆記型電腦，便很難合乎輕薄短小的要求。

工研院影像顯示科技中心主任程章林指出，如果採用軟性顯示器，顯





程章林指出，成立三年的影像顯示科技中心，在經歷蟄伏的階段之後，現在要開始展現帶動產業升級的力量。

示器將變得又輕又薄，甚至可以像捲糖果紙一樣地整張捲起來。如此一來，不但以上的兩難限制，將迎刃而解，還能衍生目前硬式LCD面板做不到的全新應用，也是國內顯示器產業發展至今的生存轉機。

「在未來三到五年之內，軟性顯示器的應用一定會起來，產業現在就要開始做好準備。」程章林指出，初期的應用可能不是很高階的使用，也不見得是令人咋舌稱奇的發明，但一些試驗性的產品將會逐漸出現。像前一陣子美國版《Esquire 君子》雜誌，以一個軟性顯示器做為封面，就

是最具體的例子；工研院顯示中心，最近也有突破性的研究成果發表。「前幾年我們是先蹲著，現在慢慢站起來跳了，」程章林笑著說。

### 危機中窺見轉機

程章林指出，相對於日本、韓國，國內顯示器產業幾乎集中在TFT LCD技術與產品，不但在上游材料、設備與下游品牌經營上相對顯得弱勢；另一方面，對下世代新興技術的投入也有所不足，在產業上處於高產值、低獲利的跟隨者角色。

雖然國內TFT LCD產值，在過去短短七、八年內，由零開始衝刺至世界第一；於2007年產值居全球之冠，超越位居二、三名的韓國與日本。但自2008年第四季開始，由於國際大環境的轉變，以及韓元的政策性貶值，造成台灣廠商競爭力大減，使得韓國產品的全球市占率，很有可能由原先的四成上下，急遽竄升至六成以上；而國內廠商的全球市占率，恐怕會由五成跌至三成多。

這項轉變不但大幅壓縮國內大廠的生存空間，也令國內TFT LCD產值，出現十年來的首度衰退。根據工研院產業經濟與趨勢研究中心IEK預估，2008年我國平面顯示器總產值為1.74兆元，較去年同期衰退0.6%。

「工研院的角色，就是要走在業界的前面，做業界因為風險太高不敢做，或者是因為過去太忙還沒有做，亦或是想做但不知道怎麼開始做的前瞻研究。」程章林點出工研院的角色定位。

他指出，目前國內產業界都有這個共識，就是在生產方面可以節約緊縮，但在新產品技術研發方面的投入，卻不能停下來。「因為我們要先在冬天的時候，把糧食積蓄好，也許一年、也許兩年，甚至更長的時間，等到寒冬過去，景氣開始迴轉的時候，在這段時間積蓄的能量，可以搶得下一波先機。」

### 未來趨勢一：綠色節能

對未來的趨勢，其實產業界的共識是相當夠的，就是資訊會跟著人走，也就是「行動智慧生活」。程章林指出，過去MIT也曾經透過聯合國，提出「百元電腦」的概念，把筆記型電腦複雜的功能拿掉，留下與教學相關的基礎功能。若干台灣廠商尤其是系統端，像廣達、華碩、奇菱等，都參與其中；之後華碩便成功推出 Eee PC的產品，創造了筆記型電腦的另一個蓬勃商機。「這個例子，其實再一次地印證了，一個看似不再有成長空間的市場，只要你的產品能夠符合未來生活應用情境的趨勢，照樣能夠大有可為，」程章林強調。



過去台灣靠著TFT LCD衝上世界第一，但在國際產業環境快速變遷下，這項優勢不再；若想持續在顯示器領域的競爭中占有一席之地，必定要搶先進入下世代的技術。

由於在未來的行動智慧生活趨勢中，顯示器將成為無所不在的必需品；因此未來的顯示器，一定要做到綠色節能，從生產、製造到使用，都必須符合省能環保。

程章林表示，現有的傳統LCD平面顯示器，是相當不經濟而耗能。由於LCD結構複雜，背光源必須穿透偏光板、彩色濾光片等零組件，從背光到面板到最後的影像呈現，光的利用率只有5%，其他95%全都浪費了。

現在愈來愈普遍的平面電視，是家中十分耗能的電器，大約占家庭耗電量的7%，能源使用效率卻如此低落；在筆記型電腦上，情況更是明顯，若純粹靠電池供電，只要把螢幕調暗，就可以延長相當的使用時間，「所以我在飛機上用筆電，一定刻意把螢幕調暗，不然飛美國的話，一下子就沒電了，」程章林指著桌上的筆記型電腦說。

所以工研院希望開發結構更簡單的軟性顯示器，來提高光的利用率。除此之外，電子紙、電子書、電子海報的應用，也可以取代對現有紙張的耗費，節省有限的資源。

程章林指出，根據統計，每製造一公噸的紙張，需要耗費98公噸的其他資源！也因此紙漿與造紙工業，已成為現今第五大耗能產業，占全球耗電量4%。光是《哈利波特》這一部暢銷小說，全球銷售量累計三億七千萬本計算，就相當於砍伐了580萬棵樹木。

## 未來趨勢二：輕薄安全

未來行動智慧生活的另一趨勢，就是輕薄安全。傳統硬式LCD顯示器不





採用卷對卷方式生產的軟性顯示器，可以像畫軸一樣收捲，而且可以視廠商或消費者的需要，任意製造出要多長都可以的相關產品。

但厚重，還容易因撞擊而損壞，所以家裡的液晶電視螢幕千萬不能任意拍打，手機和筆記型電腦也萬萬摔不得。

但新世代的軟性電子顯示器，不但不怕摔，還可以像畫一般捲起來。以連續式卷對卷製程（Roll to Roll）所製作的軟性顯示器，沒有長度的限制，可以解決大型顯示器搬運不易的問題。尤其Roll to Roll製程具有快速、低成本特色，與傳統LCD的高度真空、昂貴，又浪費材料的製作設備，形成強烈對比。

程章林解釋，將來的軟性顯示器，就像衛生紙一樣，可以一直捲一直捲，要多長有多長。「我們的願景之一，就是希望有一天可以用我們製作的軟性顯示器，完整呈現《清明上河圖》（長528公分×高24.8公分）」程章林顯示出感性的一面。

目前最長、最寬的顯示器玻璃基板，不過兩公尺多，但工研院顯示中心最大的軟性顯示器面積，已經可以達到24×300公分，解析度為30dpi，不但已經超過傳統所能夠涵蓋的範圍，更超過國際大廠Kodak所達到的國際水準8.89×304.8公分（解析度10dpi）。

### 未來趨勢三：智慧居家

有了這樣的技術，未來我們的居家環境，很可能是被四面巨大的顯示器包圍。「今天這一面牆，可能是王羲之的書法；到了明天，我可以把它替換成一幅宋朝的《清明上河圖》，」程章林指著四周說道。

超市的限時特賣，也不再需要人工手寫，而是能夠隨時進行價格更新；一天不管要更新多少次，都不成問題。一般公司行號使用的訪客識別證，也是軟性顯示器應用範圍，可以用網路攝影機拍下訪客照片，立即製作成電子識別證（E-badge），其中甚至可以記錄訪客到訪時間、訪問單位……等資訊，訪客離開之後，可以將顯示資料重新更新，供下一位訪客使用，方便又環保。

程章林指出，根據市調機構iSuppli於2008年六月所公布的數據，軟性顯示器將於未來五年之內，也就是2013年，成長至28億美元的市場規模。此外，在軟性顯示器方面的投資，也已由過去由政府主導投入，開始漸漸被私人創投超越。這個趨勢在2008年，已經出現黃金交叉點，意味軟性顯示器正逐漸由萌芽期進入成長期。

工研院顯示中心成立將近三年以來的宗旨，便是希望「帶動軟性顯示新世代，再創顯示產業新契機」。希望透過科技創新與應用創新，協助國內產業界追上歐、美、日的研發腳步，再創國內影像顯示產業的另一高峰。

「這是我們的豪情，也是我們的使命，」程章林特別強調。





除了具備反應速度快、構造簡單、成本低廉等特色，AMOLED更是輕、薄到讓你幾乎忘了它的存在。

軟性顯示機密檔案001

## 頭髮厚度的十分之一 ——AMOLED

使用大螢幕智慧手機，一天講不了幾個鐘頭的電話，就又要充電了。要是有一天，手機螢幕可以任意延長與收捲，好幾天才需要充一次電；筆記型電腦的電力，可以一路從台北直飛舊金山，那該有多理想？

這一次在工研院影像顯示科技中心成果展中，發表的主動矩陣式有機發光顯示器（AMOLED），正是未來讓這一切付諸實現的那根魔力棒，也是通往未來的飛行毯。目前工研院已在製程上掌握關鍵技術，不但能夠透過專利布局，鞏固國內相關產業的國際競爭力，更可以大大振奮目前低迷的面板產業，開啟新商機。

### 現行顯示器已不符需求

有機發光顯示器的特性，是會自己發光，不像TFT LCD需要背光，因此可視度和亮度較高，其次是電壓需求低且環保節能，並有反應快、重量輕、厚度薄、構造簡單、成本低廉等優點；依驅動方式不同，又可分為被動式（Passive Matrix，PMOLED），與由電晶體驅動的主動矩陣式有機發光顯示器（AMOLED）。





工研院顯示中心組長李正中表示，在不損傷電晶體的情況下，能夠以簡易方式將顯示器的塑膠基板從玻璃上取下，是工研院獨有的關鍵技術。

工研院影像顯示科技中心組長李正中指出，現在的面板產業，大概的用途就是手機、筆記型電腦、電視；但因為這些顯示器是玻璃做的，在未來的行動生活中，所有的隨身裝置都必須又輕又薄，部分個人化設計的產品，甚至會是曲面構造，甚至方便到最好可以收捲起來，還要做到環保節能。

目前的高階主動式顯示器有一個最大的問題，就是它不輕也不薄，更不能捲；大尺寸的TFT LCD重量上也很重，更不可能節能，要目前的顯示器去符合未來的生活趨勢，根本不可能。「未來的顯示器，一定要輕薄方便攜帶，還要有能力一次顯示足夠的資訊量；這不是技術決定，而是使用需求決定，因為人們未來的使用需求，就是在這裡，」李正中說。

### 帶動產業提升的軟實力

李正中進一步分析，就「輕薄」、「資訊量大」兩個特質來看，軟性顯示器未來的發展會變得非常重要，因為它可以彎曲、折疊、收捲。要擴大產值最好的方式，就是擴大應用，促成換機潮。「若是手機、筆記型電腦、電子書甚至電視，都改變成為可彎曲、可折疊，甚至可收捲的型式，將改變整個顯示器產業，」李正中對相關領域的發展深具信心。

根據市場調查機構Display Search的預測指出，由於手機、MP3播放器等應用日漸增加，2010年AMOLED市場，可望成長至39億美元。自2005年起算，五年的年複合成長率高達130%，成長力道非常強。

依照工研院的觀察，只要主動式顯示器一旦進入大量量產，爬升的速度將非常驚人。就好比當年筆記型電腦剛出來的時候，顯示器看起來並不賞心悅目；但是當TFT LCD出來以後，筆記型電腦的應用就迅速增加，再加上那時候無線網路與網際網路的應用一起加入，配合高畫質的顯示器，在軟體與內容不斷進步，硬體又搭配得起來的時候，整個筆記型電腦產業就起來了。

「台灣有許多世界級的顯示器製造廠，有很好的生產能力，加上目前對AMOLED的需求已經出來了，正是好上加好、大展身手的好機會。」李正中認為，台灣具有發展AMOLED的絕佳條件，尤其對國內液晶面板業者來說，只要花小錢就可以輕易改裝既有TFT液晶面板廠房，生產AMOLED，真的非常划算。

### 專利超越日韓大廠

為了協助面板相關廠商，利用既有的玻璃製程優勢，轉進軟性顯示器生產，工研院也進行了跨單位的整合。李正中表示，工研院總共有四個單

位同時參與這個計畫，希望能夠發展出全球獨家「PI塑膠基板策略」相關的解決方案。

工研院顯示中心，運用在玻璃基板上塗布一層「離形層」，順利融合業界既有的TFT製程，在柔軟的PI基板上，製作出現今面板所使用的薄膜電晶體陣列，並且能夠在不損害電晶體的情形下，順利將軟性塑膠材質取下，讓面板廠不用加購新機台，也不必大幅修改目前製程，就可以製作出柔軟的電晶體陣列。

「我們到底是怎麼樣在不損傷電晶體的前提下，把PI塑膠基板從玻璃上取下來的，所有的日韓大廠都在問，全世界也只有我們能夠以很簡單的裁切方式辦得到，」李正中自豪地說。

目前工研院研發出來的AMOLED，不但對位準確度達二微米內，遠高於國際大廠的五微米，厚度也只有頭髮的十分之一，即使經過1,000次的捲折，也不會影響顯示器表現。這不但是軟性顯示器走出實驗室，邁向量產的里程碑，也可望是未來薄型軟性電視、可折疊手機等高階應用的先聲。(陳帝鴻)



## 主動矩陣式有機發光顯示器

4.1吋AMOLED是工研院今年在軟性面板最新突破性的研發成果，完成捲軸手機中拉出螢幕的夢想第一步。厚度只有0.2公分，彎曲半徑可達到1.5公分以下，遠超越國際上其他軟性顯示器彎曲表現，亮度達100nits，解析度為320x240。成功整合塑膠基板及有機發光二極體(OLED)等前瞻材料，達成軟性顯示器最困難的「主動式」技術，開發出4.1吋單色產品。其製作方式為在玻璃基板與上方塑膠基板之間塗布一層離型層，並運用既有的面板前段製程設備完成電晶體製作，最後再搭配OLED元件，完成軟性螢幕。未來只需以現有的TFT LCD製程技術與設備，即能進行軟性顯示器生產。



像這樣的軟性電子賀卡，在顯像之後就不需要再供應電源；不必砍伐樹木，也不會因為用電而增加碳排放，是環保趨勢下的科技產品。



軟性顯示機密檔案002

## 雙穩態 膽固醇液晶顯示器

許多人都有這樣的經驗：走進大賣場，看到商品特價的海報，興沖沖地進去大肆採購一番，結帳時才發現特價日早就過了……。透過現代科技的協助，未來賣場舉辦折扣特賣，不需要再大費周章懸掛及輸出昂貴的紙本海報，只要透過無線網路傳輸，在電腦上輕敲幾個鍵，固定在天花板上的電子式旗幟面板，立即更換成最新主題。

超市貨架上的商品要更新價格，也不需要花費高昂人力成本，只要以中央電腦進行更新，透過無線網路傳送，貨架上的電子標籤就立即更新。

### 超省電的未來電子紙

工研院影像顯示科技中心副主任蔡猷陞表示，工研院目前已開發完成的全世界最大面積的雙穩態（bistable）單色膽固醇液晶顯示器，採用連續式卷對卷（Roll to Roll）製程，不但製程速度快，製程長度也不受限制，可用低廉成本製作出大面積的顯示器，讓這一切變得可能。「之所以稱為『膽固醇』液晶顯示器，其實與醫學上的膽固醇並不相同，只是因為它的液晶的排列方式，和膽固醇很近似，所以才因此命名。」

膽固醇液晶顯示器是一種具有高亮度、高對比、省電、有記憶性、廣視





不論賀卡、桌曆或是識別證，都是雙穩態膽固醇液晶顯示器的應用範圍；而且相關材料，國內廠商都已掌握，可望出現較LCD更強的產業爆發力。

角、不閃爍等優點的新型顯示技術。它最大的優點就是省能源，平均用電量只需要穿透式液晶面板的1/50。蔡猷陞說明，膽固醇液晶具有雙穩態記憶功能，只要讓它進入某個穩態之後，它就會停留在那裡，並且只有在更新畫面時才耗電。就算是在影像完全顯示之後，關掉電源，還是能夠繼續顯示原來的影像，非常適合大型戶外看板以及電子書這種可攜式產品。

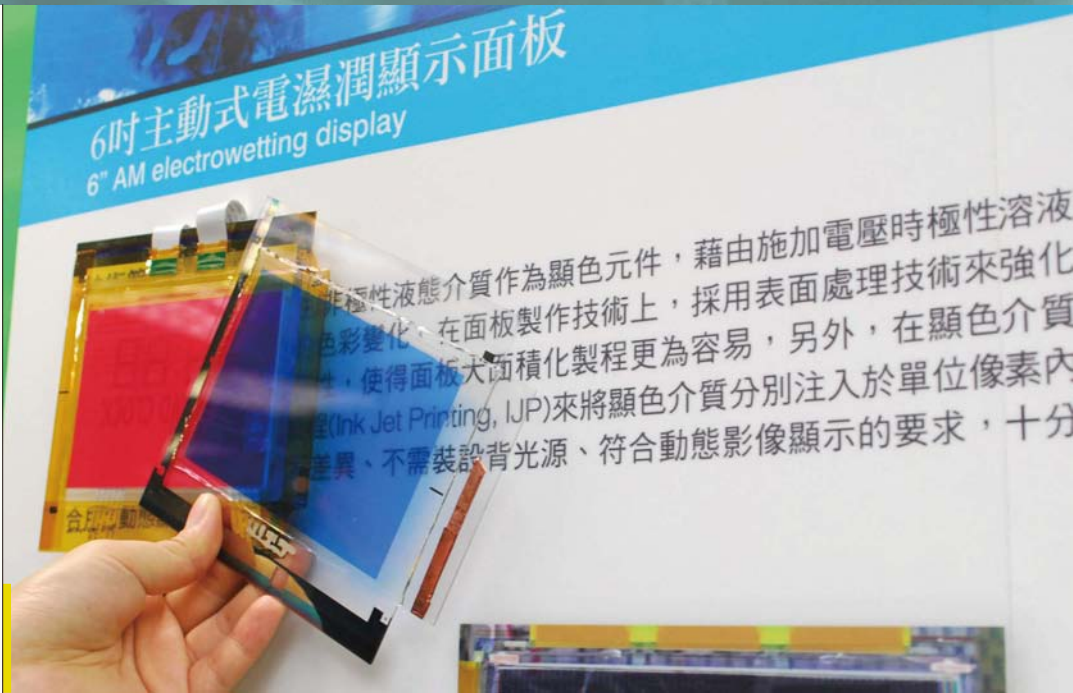
而膽固醇液晶採用反射式顯示的優點，是顯示器不需要使用背光源，就可以直接反射外界環境光，而達到顯示的效果。由於本身的光學特性，這種顯示器不需要使用偏光板，一方面可以減少面板製作成本，另一方面也能降低面板整體厚度，是一種非常符合未來需求的軟性電子紙。

### 超越TFT LCD的成長力道

蔡猷陞指出，過去做TFT LCD顯示器，設備與材料大約占生產成本的70%，因為二十年前要發展TFT LCD的時候，國內廠商並不具備掌握材料的能力，因此產業價值不在台灣，所以會陷入高產值、低毛利的情況。但雙穩態膽固醇液晶顯示器的材料，都是台灣廠商能夠掌握的，未來真的進入量產，爆發力道應該會比當年的LCD更強。

目前工研院所開發完成的該型顯示器，寬度24公分，長度超過300公分，反射率可達30%，具有國際級水準。蔡猷陞指出，雙穩態膽固醇液晶顯示器，就是未來的軟性電子紙，解析度也從先前的30dpi，增進至300dpi，將會是台灣進軍軟性顯示器的一個全新里程碑。(陳帝鴻)

利用油墨與水不同表面張力所製作的電濕潤顯示面板，不需要偏光板、液晶、彩色濾光片等零組件，就可以用來播放動態影像。



軟性顯示機密檔案003

## 彩色電子書與 電濕潤顯示器EWD

**相**對於目前市售電子書產品，大多只能提供黑白（灰階）顯示效果，工研院開發的彩色膽固醇液晶顯示器技術，只需要單層結構，就能夠呈現彩色。不但技術領先全球，也讓電子書進入輕薄彩色的新時代。

工研院影像顯示科技中心面板整合技術二組副組長胥智文表示，工研院是利用雙穩態膽固醇液晶顯示器技術，來開發彩色電子書。因為雙穩態具有記憶效果，顯像之後即使拔掉電源，還是能夠維持先前的影像，非常節能，也非常適合用來呈現靜態的文字或圖像。

### 單層結構呈現三原色

胥智文進一步指出，相對於國際上的彩色雙穩態膽固醇液晶顯示器，必須採用紅綠藍（RGB）三層堆疊結構；工研院和國際大廠技術最大的差異，在於使用單層結構的方法，就做出彩色的效果。

傳統彩色膽固醇液晶顯示器的紅綠藍三層堆疊結構，是藉由不同反射層的切換與反射，達到彩色化效果，不過卻有畫素對位不易、製程複雜、視角較窄、不易彎曲及增加電極設計驅動難度等缺點。而且三層堆疊的成本較為高昂，在顯示器厚度上，也沒有辦法做到像單層結構的輕薄。此

外，市售黑白電子書以粉體作為顯示介質技術，其彩色化效果必須外貼彩色濾光片，造成反射光線強度降低至三分之一到二分之一，並且粉體顆粒本身顏色也可能影響色彩純度，造成畫面亮度與色彩飽和度降低。

目前工研院的做法，是將單層面板畫分成三條垂直的畫素區塊，用分道注入（PVF，Pixelized Vacuum Filling）或噴墨（Ink-Jet Printing）方式，將紅綠藍膽固醇液晶分別灌注或噴印其中，讓三原色同時在一層面板上出現，但不混色，形成單層彩色化面板。

胥智文分析，單層結構的好處，包括畫素對位容易、製程可靠度高、驅動系統成本低，同時可避免三層堆疊結構造成成本提高與製程複雜等問題。同時，單層彩色結構更容易達到可撓曲的軟性電子紙需求，可應用於彩色電子書、數位相框等攜帶型高解析度彩色電子紙產品。

目前工研院已完成10.4吋QVGA單層彩色軟性面板結構開發設計及製程驗證，厚度較傳統三層彩色膽固醇液晶顯示器減少60%以上，解析度40ppi（pixel per inch），反射率為30%，已達國際大廠所開發三層堆疊技術之反射率25%~30%的水準。

胥智文表示，工研院2009年的目標，希望解析度可以做到100ppi；而目前的筆記型電腦，解析度大約在70~100ppi之間。也就是說，當明年的單層彩色膽固醇液晶顯示器的顯示品質，真正能夠做到與筆記型電腦相當時，彩色電子閱讀器這項「殺手級應用」，就要正式吹響革命的號角了。

## 電濕潤顯示技術

相對於彩色膽固醇液晶顯示器適合呈現靜態的文字，在動畫顯示方面，工研院也已研發出全球第一個大尺寸的電濕潤顯示器（EWD，Electrowetting Display）。胥智文解釋，所謂的EWD，是一種新興的顯示器技術，利用油墨與水不同表面張力之特質，作為顯示介質驅動原理，且不需要偏光板、液晶、彩色濾光片即可達到彩色效果。

由於顏色切換反應快，此種技術適合用來播放動態影像，再加上EWD面板能結合現有的玻璃面板製程技術，以及工研院自主開發之數位噴塗技術（Ink-Jet Printing），將墨水精準噴塗於各畫素內，達到大面積製程技術開發。至於材料部分也可以使用現有的彩色油墨染料，生產成本低廉，結構又十分簡單，使國內廠商具有快速量產的能力。

相對於目前市面上的EWD技術開發面板，都是0.8~2.5吋的小尺寸，工研院發表的雛形面板，尺寸已經達到6吋，穿透率可以做到75%。下階段的目標，希望開發出能夠呈現動畫效果的彩色EWD顯示器，與軟性EWD顯示器，提供產業界更多創新的前瞻技術。（陳帝鴻）



工研院研發的單層彩色膽固醇液晶顯示器，可讓RGB三原色同時在一層面板上出現，可應用於彩色電子書、數位相框等電子紙產品。