

電泳式軟性電子紙系統設計

—為永續地球盡一份心力

文·圖／高文忠

資訊科技的發展帶給人類許多便利，許多人認為利用電腦來瀏覽資訊可以減少對紙張的需求，但事實不然，根本原因在於普遍使用於資訊系統的顯示器，並不適合長時間閱讀，紙張仍是最適合人類閱讀的媒介，這種需求促使了電子紙（Electronic Paper, ePaper）的發明。電子紙泛指外觀如同紙一樣薄，具有雙穩態（bistable）特性的反射式顯示器，只有在改變影像的瞬間須要耗電。在已開發之電子紙的顯示材料中，又以軟性電泳（electrophoretic）顯示材料最被看好，電泳意指在電場力量作用下造成物理移動現象，使顯示介質呈現不同的色階，因為其具低耗電量、高對比度、廣視角並可以自由捲曲等特點，已成為電子紙材料的主流。

電泳顯示器（electrophoretic display, EPD）的發展可溯自1970年代Matsushita公司的研發成果，但多

年來均無法解決顯示器均勻性及反映速度過慢的問題，且因其電光反應曲線欠缺臨界值（threshold），若無主動元件，無法製作高解析度的點矩陣。近年來，麻省理工學院的研發團隊所成立的E Ink公司，於1998年與2003利用電泳式顯示器技術分別發表了單色與彩色的軟性電子紙於*Nature*期刊，使得世人漸漸知道此新一代的顯示器技術，其原理為將許多黑與白兩色、帶相反電荷的粒子包覆在微膠囊（Microcapsule）內，由於粒子被限制在微膠囊之內，改善了影像不均勻的問題。另一家EPD主要製造廠商為成立於1999年的SiPix公司，為我國資訊界元老侯清雄投資創設，於美國與臺灣設立研發團隊，以自主研發之微杯陣列（Microcup Array）結構型之突破性技術為核心，在微杯中裝入白色帶正電顆粒（TiO₂）及有色的流體，其優點為耐壓且較具彩色化的潛力。由於臺灣顯示器產業鏈完整，E Ink與SiPix這兩家主要廠商皆積極與臺灣廠商合作，甚至這兩家公司於2009年分別由元太與友達兩家國內顯示器大廠參與投資。



高文忠小檔案

1992與1996年先後取得臺灣大學電機工程學系碩士與博士學位，1996至2000年間服務於工研院電子所與系統晶片中心，從事晶片系統開發研究，歷任課長、部門經理等職務。2000至2004年加入矽峰光電科技公司參與數位相機之嵌入式軟體與晶片架構之研究，歷任處長、協理等職務，期間曾奉集團董事長侯清雄先生指示，籌設SiPix臺灣分公司。自2004年起，進入臺灣師範大學應用電子科技學系擔任助理教授，並成立臺師大系統晶片實驗室，2007年升任副教授。現任國際期刊*IEEE Transactions on Consumer Electronics*之Publications Review Committee，亦為IEEE Senior Member。研究興趣包括軟性電子紙與數位相機之晶片系統設計、生醫訊號與影像分析之演算法與晶片架構設計等。

緣起

後學從事電子紙的研究始於2001年，在SiPix董事長侯清雄先生的邀請下，開始進行電泳材料特性、元件模型、驅動方法與電路系統設計。侯董事長為國內最早從事電腦系統設計的前輩之一，具有前瞻視野，也勇於投資於新興電子科技，他早就認為環保節能之電子產品為大勢所趨，且人類也一直缺乏可舒適閱讀的顯示器，我深受侯董事長投身新興科技的熱誠所感動，雖然當時我對顯示器系統的知識仍有限，但覺得電子紙是永續地球不可或缺的產品，仍決定投身此一新興領域之研究，並於2002年協助成立SiPix臺灣分公司，擔任首任研發主管，在臺開始招募研發人員，並與美國矽谷的研發團隊合作，開發出我國第一個段驅動式（segment driving）與TFT主動式矩陣（active matrix）電泳顯示器。自加入學界後，仍與SiPix公司與工研院電光所持續進行相關產學合作計畫，並已完成多項軟性電子紙之設計。

研究內容

SiPix公司所開發之微杯電泳顯示器如圖1所示，每個微杯中裝入白色帶正電顆粒（ TiO_2 ）及有色的流體，其中微杯的上面為透明軟性基板，下方為電極，當電極改變時，帶電顆粒便會根據電極的正負而向上或向下移動，繼而造成黑與白的顯色，可選擇黏滯係數較高的介質使染料粒子於介質中不易移動，達到斷電時保持原顯示畫面的特性。此技術最大的優勢在於可捲性、耐壓與耐撞，它並可選用單一顏色顆粒搭配多種有色流體，形成多色顯示器，並已成功地開發出世界第一套的連續整卷自動塗佈製程的生產設備，所以是成本較低的電子紙的產品。

電泳顯示器的驅動方式可由圖2來說明，利用脈寬調變的方式，調整驅動時間決定EPD顯示的灰

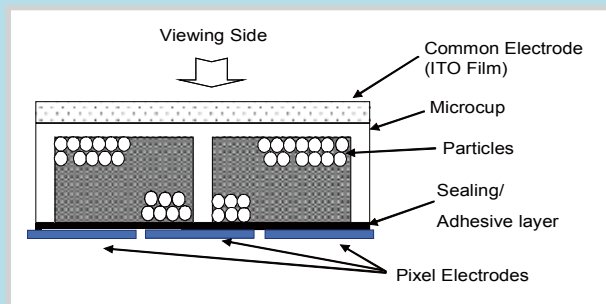


圖1：SiPix微杯電泳式顯示器結構圖。

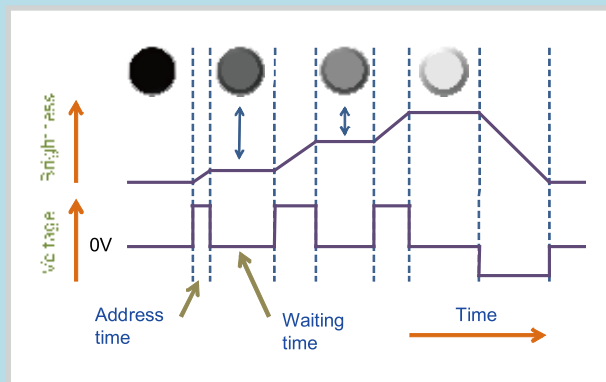


圖2：簡易型電泳顯示器驅動波形。

階。粒子游動速度約與電場強度成正比，而與介質的黏滯係數與粒子半徑成反比，雖然電泳現象的基本原理很易理解，但其細部的機制與模型仍待研究，若驅動方式不當，可能造成染料粒子固定於介質某一位置無法移動，也因為如此，欲使用電泳材料顯示灰階影像並不如液晶般容易。

EPD灰階驅動方法須考慮時間、次數、電壓、時序等問題，尤其是色階與色階之間轉換驅動的機制、溫度補償機制等，以達到較佳的影像對比與色階顯示穩定性。許多改良EPD驅動波形已被提出，一個典型的方法是加入數個黑白閃動週期，其觀念是先將之重置至全黑或全白，並使 TiO_2 粒子活化，使最終的灰階呈現較能穩定，減少於驅動完畢後就發生色階退化的現象。圖3展示了一個較為複雜的驅動波型，它包括了清除原先影像（erase the previous

image)、粒子活化以減少殘影(activate particles)、寫入新影像(write the next image)等三個階段,並利用同時改變電泳材料上下兩電極(common and segment electrodes)之電位,利用差動式驅動來增加電泳材料兩端電位差,進而提升顯示器操作速度。

圖4展現了一個TFT-EPD的系統架構,EPD薄膜貼合在具有可撓性或是剛體的TFT背板上,背板提供電極所需的開關電路。由於典型驅動電泳顯示器的電壓是正15伏特至負15伏特,需要電源電路來轉換電壓。快閃式記憶體儲存驅動波形對照表與影像。當系統開機時對照表與影像會被載入到隨機記憶體

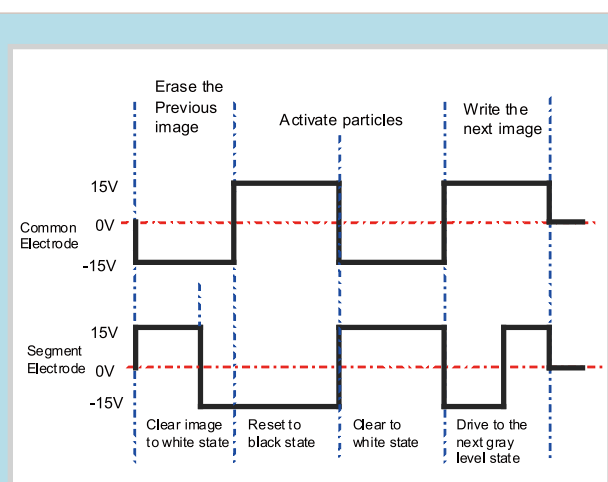


圖3：加強型的電泳顯示器驅動波形。

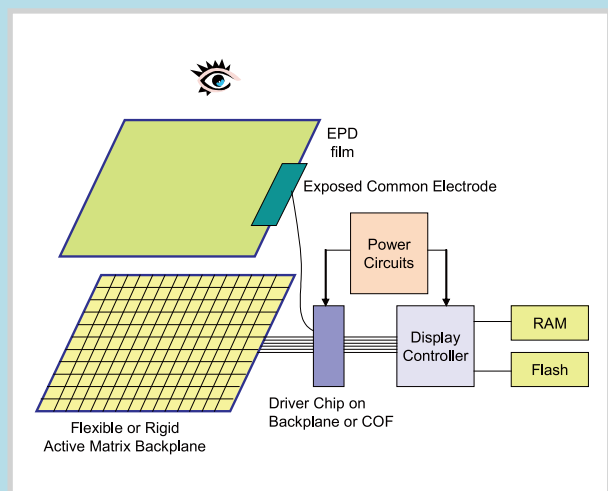


圖4：主動式矩陣驅動電子紙。

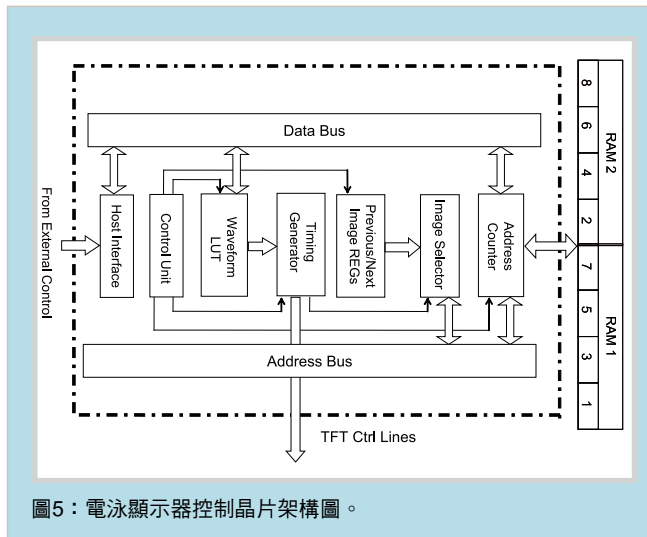


圖5：電泳顯示器控制晶片架構圖。

(RAM), 時序產生器同時存取對照表與影像來產生驅動信號並送至驅動IC。

圖5為我們提出的時序控制器的硬體架構設計圖, 其中Previous/Next Image REGs儲存了上一張圖片與下一張圖片的位置, 當更新顯示畫面時, 根據使用者的按鍵, 更新Next Image REG的內容, 根據Previous/Next Image REGs的內容, 由Image Selector決定圖片顯示的記憶體的Address counter起始位置。當顯示新畫面時, Control Unit啟動Timing Generator與Address counter將圖片的資料自圖片記憶體中讀出。像素的灰階值與控制器中frame counter的內容用來當作記憶體位置存取對照表。

由於某些EPD材質顯示新影像時, 可能需要複雜的順序來清除上一張影像, 驅動波形可能會同時參考前後一張影像。為了同時支援存取前後張影像, 如圖5所示, 將兩張影像放入不同RAM裡面可以有效改善存取頻寬, 位址線中低位位址線共用, 只有高位位址線用來分別兩張影像, 至少兩個ping-pong buffer來儲存前後張影像, 如果記憶體夠大, 可以在使用者閱讀當前資料時, 背景載入更多的影像。

在電泳式顯示器上顯現出多於16色灰階仍是一個待解決的問題。基本上16色階的顯示器對文

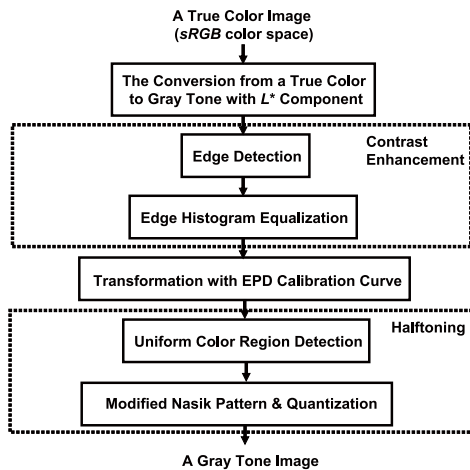


圖6：適用於電泳顯示器之影像處理流程。

字內容是沒問題，但對色彩豐富的照片而言就很難被使用者接受，所以我們亦提出一個影像處理的工具，它包含了對比增強和利用Nasik半色調的方式去處理影像轉換所會遇到的問題。處理流程如圖6所示，我們將影像資料轉換到CIELAB所訂定的亮度組成（ L^* ）的色彩空間，再將影像增強。電泳顯示器的光電響應通常都是非線性的曲線，但是其特性又與一般顯示器像是映像管或液晶都不相同，所以我們必須針對顯示面板，依其特性和溫度作校準的工作。最後根據我們所提出的半色調技術（Halftoning）將影像做最後處理，也因為利用Nasik的方法可以保護影像邊緣不被破壞，所以與一般的半色調方法相比，更能將影像品質做提升。

成果及展望

過去幾年，本實驗室在國科會計畫、鑼詮科技公司（SiPix）、工研院電光所產學計畫的支持下，已完成數種16灰階主動式矩陣驅動電子紙系統（如圖7-(a)所示），本平台提供方便的波形編輯介面，

使之可適用於各種電子紙之影像顯示。目前已使用的TFT 背板包括了多家國內知名的TFT 大廠所提供之TFT glass（圖7-(b)）及電光所軟電組所開發的軟性OTFT陣列（圖7-(c)）。其中圖7-(b)所展示的照片為經過半色調影像處理，雖然電泳顯示器本身只支援16色階，所呈現的影像色階已相當連續。所開發之電子紙之影像處理系統，有效地將彩色影像轉成16灰階的影像，增加影像的銳利度（如圖8所示）。

自2008年起，在SiPix與國科會支持下，後學與臺大校長李嗣涔教授、臺大電機系劉致為教授與另兩位臺師大教授共同合作，正進行為期3年之國科會產學合作計畫。我們利用電子紙極為省電的特性與SiPix電泳材料彩色化的應用潛力，擬開發以太陽能驅動之彩色軟性電子紙系統，達到真正環保節能的完美目標。

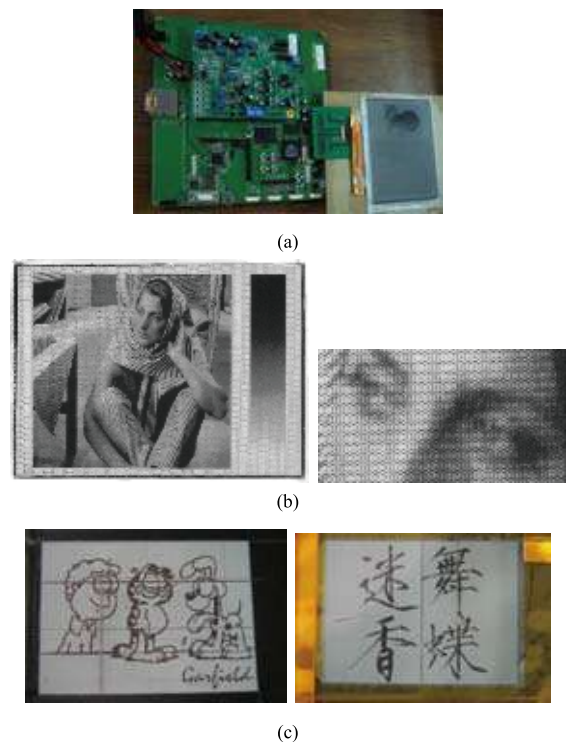


圖7：電子紙系統整合研究成果：(a)電子紙驅動電路系統；(b)以a-TFT glass背板之電子紙；(c)以工研院電光所開發之軟性OTFT為背板之電子紙。

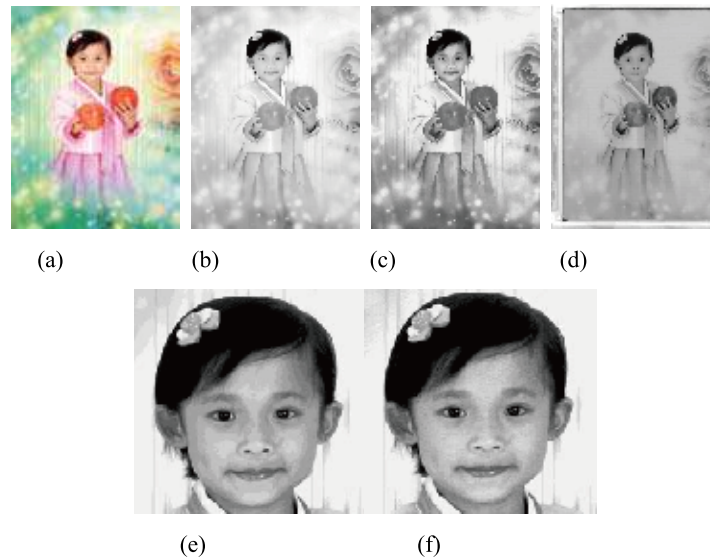


圖8：電子紙影像處理研究成果：(a)原始影像；(b)灰階轉換；(c)影像增強；(d)實際於電子紙顯示成果；(e)未經半色調處理之16灰階影像；(f)經由半色調處理之16灰階影像。

結語

電子紙的存在不是取代現有的顯示器，而是提供人類享受閱讀的基本需求，並達到節能減碳的目標。人類發明電腦後，原本希望藉由資訊與通訊技術的發展，達到無紙化的世界，然而事與願違，我們每天從印表機所印出的資料遠高於從前人類所消耗的紙張，問題的癥結在於我們欠缺一個像紙一樣的顯示器，人們無法長時間閱讀顯示於CRT或LCD上的大量資料。電子紙的發明將大大改變人們大量使用紙張的惡習，雖然目前仍有許多待克服的技術瓶頸，但電子紙技術是目前最接近人類閱讀習慣的新一代顯示器。希望有更多的研究人員投入此一新興領域，讓我們一起為永續地球盡一份心力！

延伸閱讀：

- [1] Wen-Chung Kao, Jia-An Ye, Feng-Shou Lin, Ping-Yueh Cheng, and Robert Sprague, "Configurable timing controller design for active matrix electrophoretic display," *IEEE Trans. Consumer Electronics*, vol. 55, no. 1, pp. 1 - 5, Feb. 2009.
- [2] Wen-Chung Kao, Jia-An Ye, Ming-I Chu, and Chung-Yen Su, "Image quality improvement for electrophoretic displays by combining contrast enhancement and halftoning techniques," *IEEE Trans. Consumer Electronics*, vol. 55, no. 1, pp. 15 - 19, Feb. 2009.
- [3] Wen-Chung Kao, Jia-An Ye, Fong-Shou Lin, Craig Lin, and Robert Sprague, "Configurable timing controller design for active matrix electrophoretic display with 16 gray levels," in *Proc. IEEE International Conference Consumer Electronics (ICCE)*, Las Vegas, January 2009. (EI)
- [4] Wen-Chung Kao, Jia-An Ye, and Craig Lin, "Image quality improvement for electrophoretic displays by combining contrast enhancement and halftoning techniques," in *Proc. IEEE International Conference Consumer Electronics (ICCE)*, Las Vegas, January 2009. (EI)
- [5] 高文忠、葉嘉安、王怡凱，2009，〈軟性主動式背板驅動之電子紙顯示技術〉，《電光先鋒》1，20-25。