



電子紙技術發展現況

吳耀庭* 溫俊祥**

工研院工業材料研究所 電子有機材料研究組

*副研究員 **經理

摘要

電子紙除了具備跟傳統紙張一樣的易讀性與可撓性外，更具有訊息（文字）可重複寫入、拭去的特點；這樣的技術可能對我們生活帶來重大的影響，改變人們的閱讀習慣。本文將對各種電子紙的相關技術特點與發展近況，作一比較介紹。

關鍵詞

電子紙(E-paper)、電子油墨(E-Ink)、智慧紙(Smart Paper)

前言

隨著電腦及網路的迅速發展，曾有人認為『無紙辦公室(Paperless Office)』的時代即將到來。然而事實顯示，近幾年來紙張之消耗量不減反增。例如：根據紐約時報 2001 年 4 月 21 日一篇標題為『That Secure Feeling Of a Printed Document; The Paperless Office? Not by a Long Shot』的報導指出，辦公室自動化普及後，從 1985 年至 2000

年十五年間，全世界最大的辦公用紙輸出國加拿大，紙張出口量足足成長了一倍。此外，根據知名的市調公司迪迅(Dataquest)統計，美國雷射印表機數量在九〇年代激增了十二倍，而傳真機在同期間也成長了二十二倍，而這些設備都需要使用紙張。因此，加拿大重要紙張出口商 Tembec Inc. 甚至預估到 2010 或 2015 年，辦公室用紙起碼會再成長 50%。當然，除了辦公室用紙外，人們日常閱讀



報張、雜誌及書籍，亦多使用紙張為閱讀介面。探究為何個人電腦、筆記型電腦及 PDA 等資訊工具，日益完善的功能，搭配便利的網路訊息傳遞、下載，仍無法將人們之閱讀介面由紙張帶向電子介面。電腦及網路的穩定性與安全性，固然仍有改善之空間，但很重要的一個環節，是在於現有之電子介面—顯示器，與人們習慣閱讀的介面—紙張有相當的差異，因而不易被人們所接受。

閱讀特性差異

人們所習慣的紙張介面，與現有之電子顯示技術比較，主要有下列幾點特性：

1. 高反射率(~65%)
2. 好的對比值(~20:1)
3. 使用環境光源
4. 幾乎無視角限制
5. 輕薄攜帶方便且可捲曲
6. 不需消耗電源

以目前普遍使用於各種可攜式電子資訊產品的液晶顯示技術而言，性能上最接近的應為穿透反射式 (Trans-reflective) 的 TN 與 STN LCD，但相較之下，仍有下列缺陷有待改進，主要包括：

1. 需搭載輔助背光源
2. 使用環境光源時，對比較差
3. 視角往往受到限制
4. 由玻璃組成液晶槽，攜帶便利性與耐衝擊性差

5. 需使用電源

此外，液晶顯示器製程較繁複，且通常需要許多光學膜（如：偏光片）的配置，在生產成本降低上，有一定的瓶頸存在。

電子紙技術發展

由於現有顯示技術與理想電子紙的特性，仍有相當大的落差存在。因此，各種以電子紙張為訴求的顯示技術，紛紛被研究與提出。

電子紙張通常需具有四個基本要件。首先是文字的辨識性，以白底黑字的顯示型態而言，白色背景的白度越高，黑白對比越佳，顯示就越清楚，希望做到與紙張印刷品類似的視覺觀感。其次是具有文字訊息寫入、拭去的功能，顯示介面可重複使用，增加資源的使用效率。第三是關閉電源時能維持顯示，因閱讀大量文字時，畫面必須顯示一段時間，如果此時不需施加電力，亦能保持畫面穩定顯示，則可不必內置電池，即便內置電池，亦可有效控制電源使用效率，延長待機時間。最後則是需有可彎曲的特性，增加耐衝擊性，以提高使用的便利性。

電子紙張的相關技術發展，主要有二個方向。一是改進顯示器的性能，朝著輕薄且具可撓曲性的目標邁進。另一個研究方向，則是整合印刷技術，配合可重複印刷、消去的特殊紙張設計，讓紙張具有可多次重複



使用的特性。但由於第二種技術型態，基本設計上是採用光、熱或磁的方式，需搭配特定的印刷設備，進行訊息的改寫。並不如第一種方式可直接使用電氣手段，在電子紙張上進行顯示訊息的寫入與更新。因此，本文只針對第一種技術研究趨勢作探討。

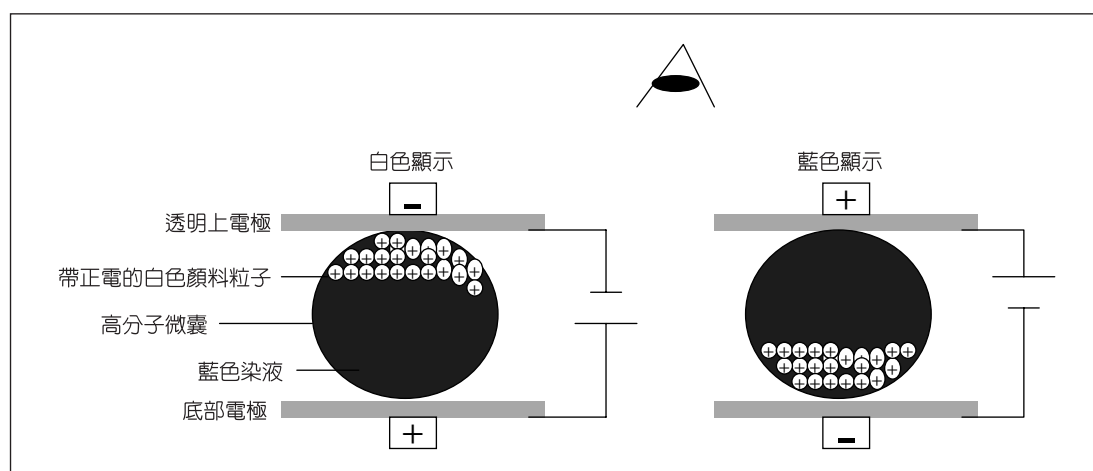
在具有電子紙特性的顯示技術研究上，以各種具有雙穩態特性的反射式顯示(Bistable Reflective Displays)技術為主。常見的類型包括電泳動顯示(Electrophoretic Display)、旋轉球顯示(Rotating Balls Display)、雙穩態液晶(Bistable LCD)、電潤濕顯示(Electrowetting Display)和快速應答電子粉流體顯示(Quick-Response Liquid Powder Display)等技術，分別介紹如下：

一、電泳動顯示

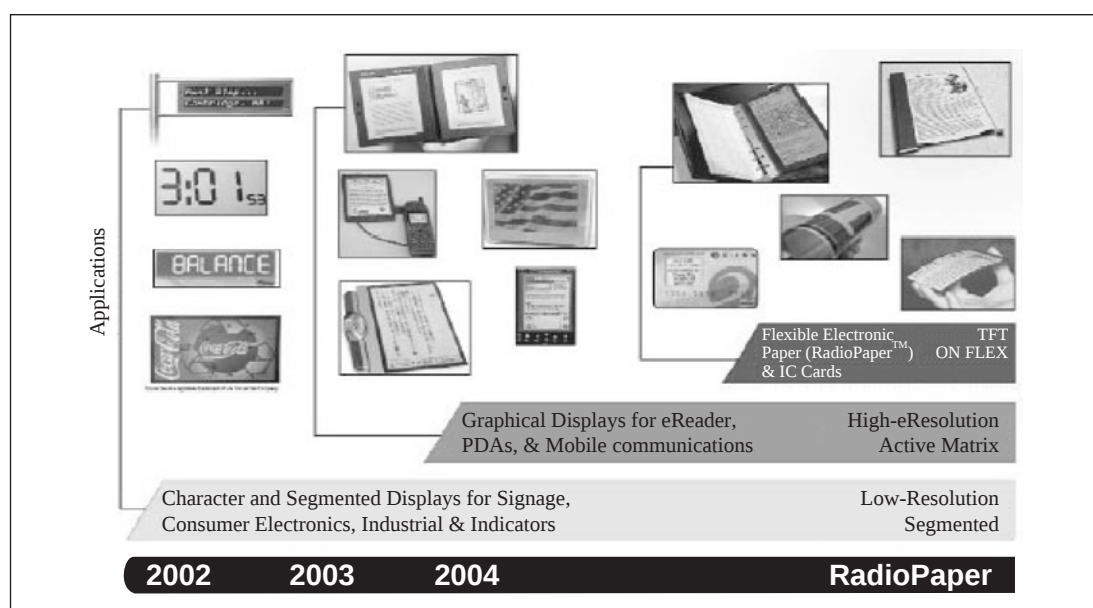
電泳動顯示(Electrophoretic Display)原理，主要是以外加電場驅動懸浮在溶液中的帶電粒子，利用粒子存在位置的改變，來展現出粒子與溶液、背板(Backplane)或粒子與粒子之顏色對比，來作影像顯示。這種顯示概念應用早在 1970 年代就有人提出，如美國專利 US3,668,106 所闡述，但實際上存在粒子沉降、側向擴散凝集及反應時間等問題，應用上並不被看好。1995 年，美國史丹佛大學物理系的博士後研究員 J. Jacobson，將含有

藍色染液與白色粒子組成懸浮液，包裹在透明高分子構成的「高分子微膠囊」(Polymer Microcapsule)中；顯示時，當帶正電荷的白色二氧化鈦粒子停留在微膠囊的觀視面時，呈現的就是白色的頁面；而當微膠囊下方的電極帶負電荷時，就會將這些粒子拉到另一側，在該點便產生一個油墨似的影像，直到相反的電壓脈衝再將這些白色粒子送回去。經由這樣的程序，就可以產生暗底白字的效果（圖一）。將帶電粒子懸浮液進行微粒包覆後，除了可改善沉降、側向擴散凝集的問題外，在製程上這些「高分子微膠囊」就像油墨一樣，可使用印刷方式來進行圖案化製程，大幅提昇製程的便利性。

此技術後來衍生出「E-Ink」這家公司，並獲得飛利浦(Royal Philips Electronics)、凸版印刷(TOPPAN Printing)等知名廠商的青睞，給予資助及合作技術開發。在發展電子紙張顯示技術的相關公司中是相當被看好的公司。根據該公司之技術發展里程規劃（圖二），第一階段以文字(Character)和段式顯示(Segment Display)功能為主，產品應用主要瞄準家用電器、標識及商業用途的告示板，並已於 2002 年推出。而 2004 年更與飛利浦及新力公司合作，由新力公司推出第一代電子紙顯示器消費產品，名為『LIBRIé』的電子書，其畫面尺寸為 6 英吋，解析度為 SVGA（800×600



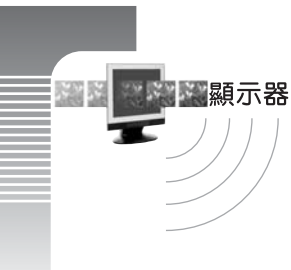
▲圖一 E-Ink 公司的『高分子微膠囊』結構與顯示原理



▲圖二 E-Ink 公司的技術發展里程規劃 (Source : E Ink 網站)

點)。該公司預定在 2005 年中期推出彩色電子紙的原型，目前正積極改良彩色濾光片(Color Filter)的性能，以提昇對比和反射率。在可撓曲化方面，使用不銹鋼(SUS)的極薄材進行背板開發，搭配用聚亞醯胺絕緣塗層技術，

在其上製作出迴路及有機薄膜電晶體(Organic TFT)結構。希望作為未來實現可攜式電子紙的核心技術。此外，E-Ink 公司亦與英國 Plastic Logic 公司共同開發採用樹脂基板的可撓曲顯示器，期待將 E-Ink 的電子紙技術和 Plastic



Logic 的印刷式薄膜電晶體成型技術結合，並以應用在行動電話的主動式顯示器為目標。

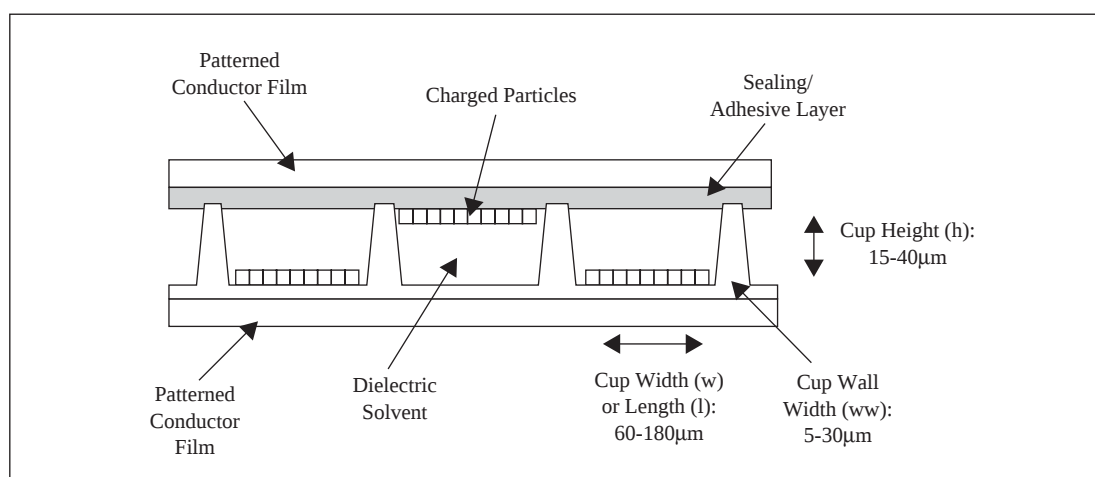
同樣，以利用電泳動顯示原理作為實現電子紙技術的方式，較著名的還有 SiPix 公司的微杯陣列(Microcup Array)設計。其特色是利用微影製程先在基材上製作出用填充電泳液的微杯結構(圖三)，藉此將電泳液獨立區隔的小單元中，來預防電泳液不當的外漏與位移。

二、旋轉球顯示

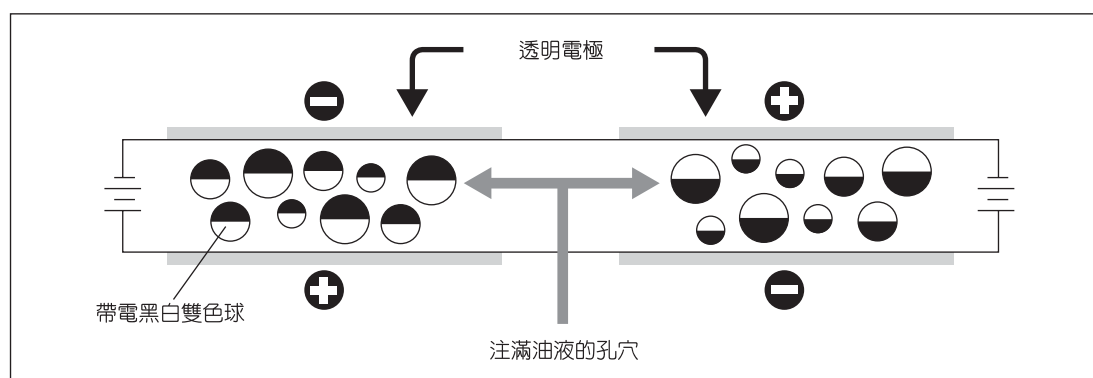
旋轉球顯示(Rotating Balls Display)技術是美國蓋瑞岡媒體(Gyricon Media)公司的獨家技術，「Gyricon」希臘文是「旋轉圖像」的意思，其基本原理是利用外加電場轉動一粒粒直徑小於 100 微米的小塑膠球。該塑膠球是由兩個顏色不同的半

球體所組成，每個半球體分別帶有正電荷與負電荷。將這些雙色球填入存在二片透明電極間充滿透明液體的微小洞穴中，當施加電壓於兩側電極時，所形成的電場會使雙色球轉動，來達成黑白或不同顏色的顯示功能(圖四)。該公司將這種技術衍生出的產品稱為「智慧紙」(Smart Paper)，顯示解析度約為 100dpi。目前，主要的應用為百貨、零售商場的商品價格標籤與一些公共場所的訊息告示板。該告示板並可透過 WiFi(802.11b)的無線區域網路系統，進行價格或訊息的更新。

未來在顯示性能提昇上，主要是以改善旋轉球的生產技術，希望藉由製造更小的旋轉球，來提高顯示的解析度。其次則是如何達成全彩畫面的展現。目前，在彩色顯示方面，該公司的提案為利用透明的旋轉球，在這些旋轉球中嵌入薄盤狀的紅、綠、藍



▲圖三 SiPix 公司的微杯陣列電泳顯示器結構

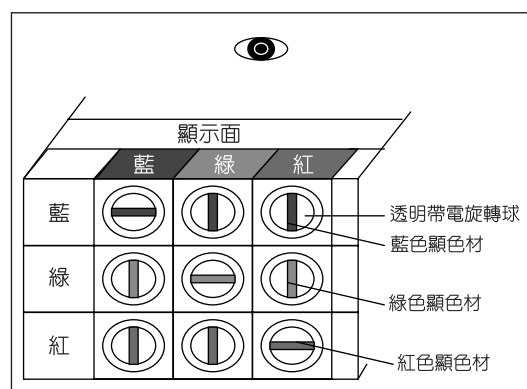


▲圖四 蓋瑞岡媒體公司的「智慧紙」顯示技術結構與原理

三色顯色材料，藉由不同的電壓來控制旋轉球的位置，以呈現彩色的效果（圖五）。

三、雙穩態液晶(Bistable LCD) 顯示模式

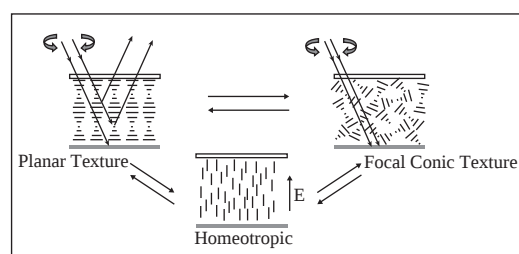
在類紙張顯示器應用的反射式液晶顯示技術，主要有膽固醇型液晶(Cholesteric LCD)與雙穩態向列型液晶(Bistable Nematic Display)兩大類。其中膽固醇型液晶的兩個介穩狀態分別為



▲圖五 蓋瑞岡媒體公司可做彩色顯示旋轉球顯示器結構

Planar Texture和Focal Conic Texture（圖六），其特點為不需使用偏光片，具有較高的反射率與不錯的對比值。此外，可藉由改變 Planar Texture 的螺旋間距(Helical Pitch)來控制反射光波長，達成彩色顯示功能。但因兩種介穩狀態的轉換需經過垂直排列(Homeotropic)的中間態，需較高的驅動電壓與較長的反應時間，為其主要缺點。美國 Kent Display 公司發表其在電子書應用的產品，為 5 吋大小具有 1/4 VGA(240×320)解析度的膽固醇型 4096 色液晶顯示器，單色顯示則可做到 VGA(480×640)的解析度。

在雙穩態向列型液晶顯示技術的



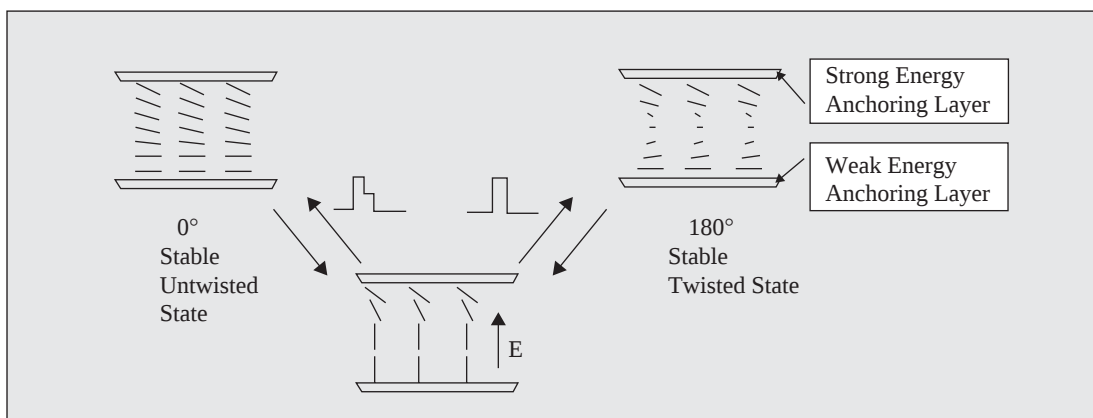
▲圖六 膽固醇型液晶的介穩狀態與顯示原理



代表為，法國 Newoptic 公司名為 Binem[®] 的技術與英國 ZBD Display 公司的頂點雙穩(Zenithal Bistable display)顯示技術。Newoptic 公司的雙穩向列液晶技術，其兩個介穩狀態分別為：液晶分子未扭轉的平行排列與上下扭轉 180° 的平行排列，兩種狀態可藉由施加電壓，經過一個垂直排列的中間態(Hemotropic Transitory State)進行轉換。利用上、下極板內側表面強、弱錨定能(Anchoring Energy)的差異，如果長時施加某一額定電壓，液晶分子便會以相對於底板呈垂直排列狀態。當將電壓值急速降至 0 的操作時，強錨定能表面周圍的液晶分子便被拉向倒下的方向，而弱錨定能表面周圍的液晶分子則呈反方向倒下。這樣，使得位於中間位置上的液晶分子會產生扭曲角度。此外，當分二步驟緩慢進行解除加電壓狀態的操作時，各液晶分子會因彈性能力減弱而倒向同一個方向，不會有扭曲角度的產生（圖

七）。上述兩種狀態，一種顯示為黑，而另一種顯示為白。並可藉由控制第二步改變解除電壓時的電壓幅度，調整黑色區域和白色區域的比率，達成不同灰階的顯示。Newoptic 公司在 SID 2004 研討會中，曾展示採用彩色濾光片配合 32 階介穩灰階(Bistable Gray Scale)技術，發展出 3 萬 2000 色的彩色顯示器。

而英國 ZBD Display 的頂點雙穩(Zenithal Bistable Display)顯示技術，則是在液晶槽的設計上，一側極板採用垂直配向層，另一側則用光阻微影製程，製作出規則的柵欄紋路(Grating Groove)。然後再塗佈上一層特殊的介面活性劑，使其有垂直定性的作用，它的兩種介穩狀態分別為：液晶分子導向(Director)上下都垂直於極板的連續態，與靠近柵欄紋路側分子導向呈傾斜排列分布的缺陷態。而二者之間轉換可藉由外加電壓與改變電場極化方向來達成（圖八）。在灰階的切割



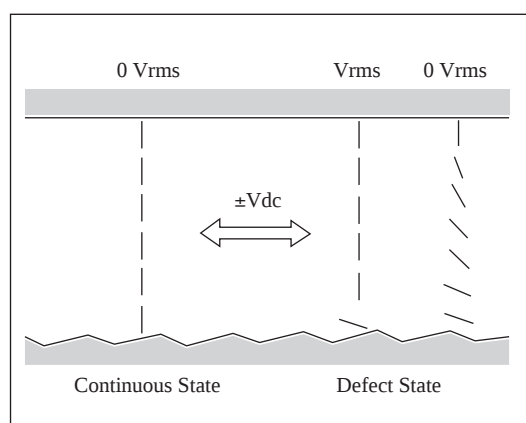
▲圖七 法國 Newoptic 公司名為 Binem[®] 的技術原理



部份，則可以外加電壓大小來控制畫素內二種介穩狀態的分佈比例進行調整。藉由柵欄紋路間距、深淺與切面型狀的設計，甚至可做到目前所有雙穩態液晶顯示模式中，最佳的 64 灰階。

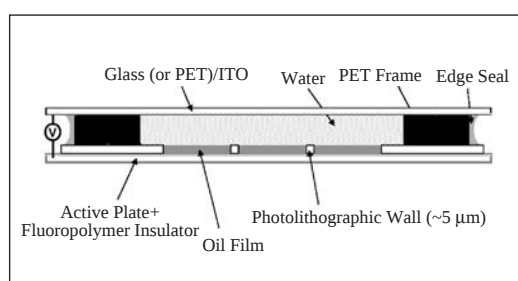
四、電潤濕顯示

電潤濕顯示(Electrowetting Display)技術的應用研究相當廣泛，包括微機電的微流體晶片(Lab-on-Chip)與高速光纖通訊的光閥(Optical Switch)等。在顯示技術上的應用，較受矚目當為荷蘭飛利浦研究員 R. A. Hayes 與 B. J. Feenstra 於 2003 年，在 Nature 上所發表名為『Video-speed electronic paper based on Electrowetting』文章。正如其標題所示，此技術最大之特點，在於快速應答的能力，反應時間可達 10ms 以下。其結構如（圖九），

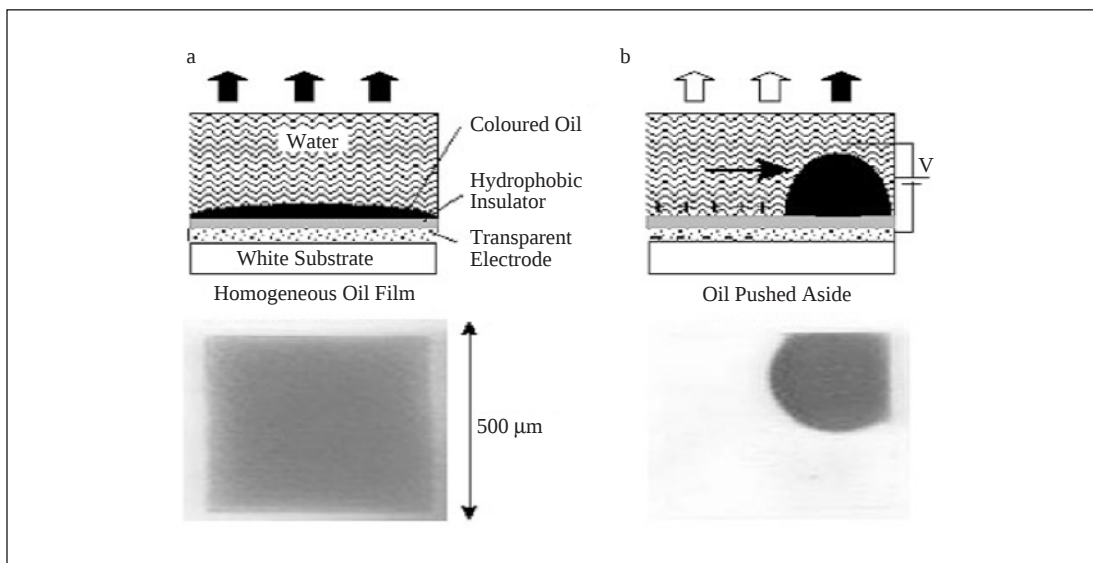
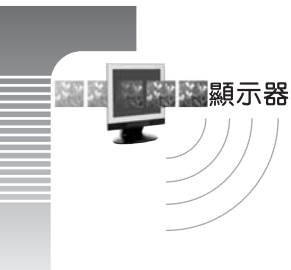


▲圖八 英國 ZBD Display 的頂點雙穩 (Zenithal Bistable Display) 顯示技術

在驅動電極板上塗上一層具高疏水特性的含氟高分子絕緣層(Fluoropolymer Insulator)。畫素與畫素間以微影製程製作出擋牆加以區隔，再將含有染料的油性液體，塗佈在每個畫素電極表面的絕緣層上。然後加上一層水層，再覆蓋上鍍有透明導電層的上極板組成顯示器。其顯示原理為，未加電壓時，因油相/水相間與油相/絕緣層間的表面張力加總小於水相/絕緣層間的表面張力，即 $\gamma_{o,w} + \gamma_{o,i} < \gamma_{w,i}$ ，因此彩色油液可穩定的覆蓋整個絕緣層。而當外加電壓於水與畫素電極間時，靜電作用力的加入破壞了原有的平衡，藉由水層下移接觸絕緣層可取得較低能量的平衡狀態，因此油液層產生位移，與絕緣層的接觸面積相對縮小（圖十）。油液層的作用類似光閥，可調控外界光源進入反射板的強弱與反射率的高低，達到明暗對比的顯示效果。此一技術因不需使用偏光片，而且彩色顯示的做法，是利用 CYM 的彩色濾光片。配合疊層的 CYM 油層結構設計，利用減色法混色原理達成彩色顯示功能。理論上，該技術的亮度可達



▲圖九 飛利浦公司的電潤濕顯示器結構



▲圖十 電潤濕顯示技術的作動原理

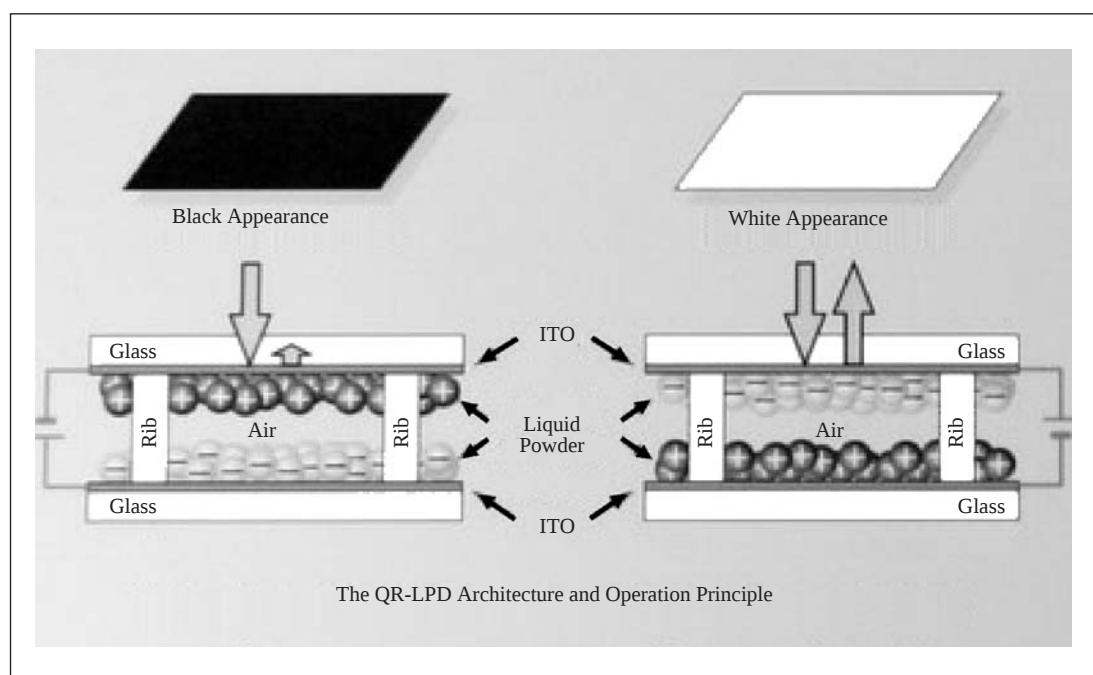
一般使用 RGB 彩色濾光片液晶顯示器的四倍。不過，因整個技術發展處於初期階段，應用上仍有許多材料、設計與製程的問題需克服，如：染料之色飽和度、灰階再現性的控制、微量液滴注入的精確定量等等。因此，離商業化應用仍有一段時日。

五、快速應答電子粉流體

日本 Bridgestone 公司於去年十月在日本橫濱的 FPD 展會上，展出該公司的薄紙狀顯示器—快速應答液態粉體顯示器 QR-LPD(Quick Response-Liquid Powder Display)。採用該公司所開發的「液態粉末」作為顯示元件，所謂液態粉末是一種聚合物，其特性介於微粒和液體之間，對電場具高度靈敏性。

這種反射型顯示器將液態粉體夾在兩片電極板之間，利用外加電場來控制液態粉的移動與排列。以顯現單色的原型機為例，採用兩種類型的液態粉：帶陽性電荷的黑粉和帶陰性電荷的白色粉末。當粉末被充填在兩片透明電極板之間，在前電極板施以正電壓時，白色粉末移動到前電極板，可反射顯示白光。而施加負電壓時，黑色粉末移動到前電極板可顯示出黑色（圖十一）。目前，該公司已經研製出具有 8 種灰階的顯示器。

由於電子粉流體是在空氣中移動，因此從白色到黑色的應答時間僅需 0.2ms。問題在於驅動電壓較高，降低電壓是今後待解決的課題。目標是在 1~2 年後，由目前的 80V 降到 30~40V。該公司將於 2005 年首先以電子價格標籤作為應用目標，價格預計



▲圖十一 日本 Bridgestone 公司快速應答液態粉體顯示器結構與作動原理

與單色 LCD 顯示器相當。並預計在 2006 年推出多彩顯示器，2007 年推出具有灰階的可撓曲顯示器，2008 年推出能夠顯示移動圖像的全彩色顯示器。

結語

雖然，目前類紙張顯示技術實用的例子仍有限，但因其擁有許多優點，潛在的應用相當廣泛，具有無窮商機，吸引了許多廠商投入研究開發，技術亦不斷推陳出新；相信不久的將來，跟『紙張』一樣的顯示器，將成為我們日常生活不可或缺的一部分。

參考資料

1. "The Reinvention of Paper" by W. Wayt Gibbs, Scientific American, Sept. 1998
2. Liang, R.C., Hou, J., Zang, H.M., & Chung, J. (20, February). "Passive Matrix Microcup® Electrophoretic Displays". Paper presented at the IDMC 03
3. Silverman, Alexander E. "Additive color electric paper without registration or alignment of individual elements", US Patent 6,128,124
4. D.-K. Yang, J.L. West, L.C. Chien and J.W. Doane, J. Appl. Phys. 76, 1331 (1994)
5. I. Dozov, M. Nobili, G. Durand, J. Appl. Phys. Lett. 70, 1179 (1997)
6. J.C. Jones et al., SID 98. Digest, pp.858~861
7. I. Dozov., "Bistable Liquid Crystal Technologies". Presented at the SID03
8. R. A. Hayes, B. J. Feenstra, Video-speed electronic paper based on Electrowetting, Nature 425, 383-385 (2003)