

# Microcup<sup>®</sup> Electronic Paper and the Converting Processes

## 微杯電子紙及其後加工制程

**Xiaojia Wang** , **Sean Kiluk** , **Chris Chang** , **Ying Wu** and **R.C. Liang**

SiPix Imaging , Inc. , 1075 Montague Expressway , Milpitas , CA 95035 , USA

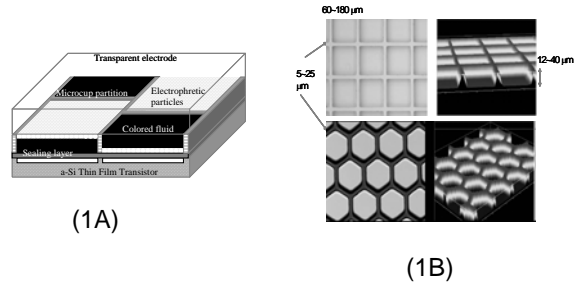
### 摘要

SiPix 利用獨特的 Microcup<sup>®</sup> 結構和頂部入液封裝的技術，通過連續性整卷高速涂布的制程成功的製造出高性能，雙穩性的電泳顯示 (EPD) 電子紙。

SiPix 將提供下列兩種規格的 EPD 卷成品給下游模組廠商或系統廠商：(A) 可用於製造直接驅動 (Direct Drive/Segment) 和主動式矩陣 (AM) 驅動產品的三明治卷成品，其結構為：Common ITO/ Microcup<sup>®</sup> EPD/剝離膜 (保護膜)；及 (B) 可用於製造被動式舉陣 (PM) 驅動的三明治卷成品，其結構包含橫向 ITO 電極 / Microcup<sup>®</sup> EPD / 縱向 ITO 電極。這兩種卷成品只需再經過簡單的後段加工便可製成不同的顯示器半成品或成品。

### 序言

SiPix 已證實能以低成本、高效率的卷式 (roll-to-roll) 制程來生產極輕、極薄的柔軟電子紙。



**Figure 1** (A) Schematic illustration of the Microcup<sup>®</sup> AMEPD , and (B) Photoprofilometry of two Microcup<sup>®</sup> arrays

圖 1A 所示是一個典型的主動式矩陣 EPD 的概要結構。從上至下的結構依次為：透明的第一電極層；充滿有色電泳液的 Microcup<sup>®</sup> 陣列；封液層 / 粘合層；以及 TFT 底板。Microcup<sup>®</sup> 陣列可用光蝕刻技術或精密微型壓花技術在整卷的 ITO 電極膜上製成。Microcup<sup>®</sup> 結構將電泳液分隔成細小的獨立單元，有效地預防了電泳液的外漏以及不當的微粒的位移。Microcup<sup>®</sup> 結構還具有造形上的任

意性，結構完整性和機械穩定性的優點。  
**Microcup<sup>®</sup>** 的形狀和尺寸可以根據不同的應用需求來作有效的調整。圖 1B 所顯示的是兩種典型的 **Microcup<sup>®</sup>** 結構圖。

經由通過微粒-微粒、微粒-封裝層、和微粒 - **Microcup<sup>®</sup>** 間相互作用的最佳量化後，SiPix 成功的製成了 64x240 條線的被動式矩陣 **Microcup<sup>®</sup>** 驅動電子紙(PMEPD)。此電子紙為全世界第一次被成功製成的軟性電泳顯示器。在 30 伏下驅動電壓，其影像掃瞄速度可以達到每條線 $\leq 30$  微秒，且影像對比度可達 $\geq 10$ 。同時 SiPix 也已在實驗室證明 **Microcup<sup>®</sup>** 主動式矩陣電子紙 AMEPD，在低驅動電壓( $\leq 10$  伏)時，影像對比已可達 $\geq 10$ 。

### 無縫的頂部封裝制程

SiPix 開發出由頂部封裝的制程可以快速將一種非常堅韌的封裝材料層注留在充滿電泳液的 **Microcup<sup>®</sup>** 陣列上，並瞬間內在 **Microcup<sup>®</sup>** 頂部形成無縫隙的封裝層。封裝後的 **Microcup<sup>®</sup>** 再與保護/剝離膜或導體膜貼合而形成顯示面板，然後再根據不同的應用轉換成顯示模組或顯示器產品。主動式矩陣驅動和

直接驅動的電子紙產品制程可簡述如下：先用卷式制程在 ITO 膜上製成 **Microcup<sup>®</sup>** 結構，注入電泳液，頂部封裝，然後和保護/剝離膜粘合(可另加粘膜)，形成三明治結構。此種結構的卷成品可以成卷運送到客戶手中，再由客戶進行簡單的後加工轉換成產品。這種為客戶提供便利的成卷產品模式是否可行，其關鍵在於頂部封裝層是否能確保低沸點電泳液在存放和運輸過程中不會揮發或流失。

為了測試封裝層的密封性，我們將一低沸點的測試溶劑以厚度為 2-3 $\mu\text{m}$  的封裝層封裝於 **Microcup<sup>®</sup>** 之內。由熱重量(TGA)實驗曲線得知頂部封裝層的存在能有效的將此溶劑的初始氣化溫度由 33 $^{\circ}\text{C}$  提昇至 180-220 $^{\circ}\text{C}$ ，而且此溶劑需有約 23~26Kcal/mol 的活化能才能浸透過封裝層。另有實驗證明，一個正常封裝後的 **Microcup<sup>®</sup>** 陣列結構，在溫度為 80 $^{\circ}\text{C}$  的烘箱內放置 5 天後，其電泳液重量損失幾乎可以忽略不計。這些封裝層的密封能力充分證明了封裝在 **Microcup<sup>®</sup>** 內的電泳液，將可耐長久的儲存和運輸。並且頂部封裝層上的保護/剝離膜可更進一步的加長電泳液的保存期。

## 形式任意的 EPD 卷成品

圖 2 顯示了兩種形式任意的 Microcup<sup>®</sup> 卷成品：(A) 一種是可供直接驅動(DDEPD)和主動式矩陣驅動(AMEPD)電子紙使用的[剝離膜 / Microcup<sup>®</sup> EPD/ commo 導體膜(如 ITO/PET) ] 三明治結構；(B) 另一種是適用於被動式矩陣電子紙(PMEPD)的預貼合的[ 橫向電極線 /Microcup<sup>®</sup> EPD/ 垂直向電極線 ] 三明治結構。兩種形式的 EPD 卷成品的共同特點是整卷產品都有對稱均勻的結構，因此可以根據不同的應用而任意裁剪成不同的大小和形狀。在直接驅動電子紙(DDEPD)和主動式矩陣的電子紙(AMEPD)應用中，客戶可以輕易地除去三明治結構上的保護和剝離膜層(如圖 A)，再將 Microcup<sup>®</sup> EPD 貼合到 TFT 底板或是有線路圖樣的第二電極膜上。

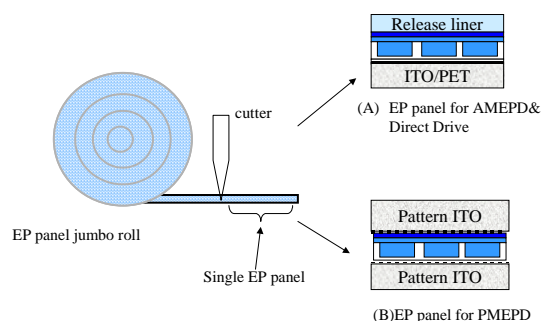


Figure 2 Schematic illustration of two types of format flexible EPD rolls.

## EPD 後加工制程

裁剪好的 EPD 必須要經過一道後加工程序，將導電膜暴露出來，以便與顯示器的驅動器連接。DDEPD 和 AMEPD 電子紙的後加工程序可簡述如下：(1) 切除並剝離不要的剝離膜；(2) 去除暴露出來的密封/粘合層；(3) 剝除電極端面上的 Microcup<sup>®</sup> 層；(4) 置入導電膠；(5) 將 EPD 薄膜貼合在 TFT 底板(AMEPD)或第二電極(DDEPD)上；(6) 聯接 EPD 顯示板至驅動電路板。整個概要的過程如圖 3 所示。

## 剪切和去膜制程

SiPix 以不對稱的切割方法除去不需要的剝離膜條，以暴露 Microcup<sup>®</sup> 結構來進行下一步的化學去膜。在整個 EPD 後加工程序中，最關鍵的一步是用化學去膜法來清除電極端面上的 Microcup<sup>®</sup> 層。由於 Microcup<sup>®</sup> 層與 ITO 電極層之間的黏合性強於 ITO 電極層與 PET 層間的黏合性，憑機械外力去除 Microcup<sup>®</sup> 層很容易破壞 ITO 層的完整性。即使用昂貴的設備精確控制力道也難以避免破壞 ITO 層的完整性。SiPix 成功發展出的去膜液可以有效地弱化 Microcup<sup>®</sup> 層與 ITO 電極層之間的黏合性，而在不傷及 ITO 的情況下輕易去除 Microcup<sup>®</sup>

層。實驗數據證明此去膜過程可在 70°C 下 2 分鐘之內完成(圖 4)。去膜前後的 ITO/PET 膜層電阻率可保持不變(圖 5)。

在化學去膜過程中，因 Microcup<sup>®</sup> 陣列結構形成天然的阻擋，使得去膜液能夠被精確地限制在要去膜的區域。但在 AMEPD 的電子紙中，其 TFT 導電接觸點僅僅有 2mm<sup>2</sup> 大小，且非常接近 TFT 的有效功能區。即使如此，SiPix 的化學去膜方法也證實可確保 AMEPD 的品質不受去膜的任何影響。

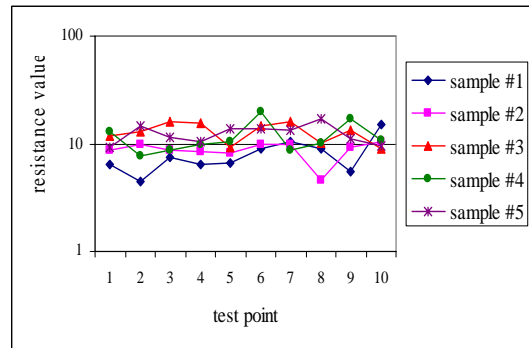


Figure 5 Resistivity of ITO film after stripping remains almost the same as that of the unprocessed ITO/PET film. Resistivity of 10 test points was measured for each of the five as-stripped samples.

### 貼合制程

在 DDEPD 和 AMEPD 的應用中，借助一層熱活性的黏膠，EPD 可緊密的粘合至另一有線路的底板上。要達到最佳效果貼合制程的條件及黏膠的性能需有合適的搭配。圖 6 所示為在 ±15V 時，粘合溫度對 t<sub>on</sub> 的影響。當溫度低於黏膠的活化溫度(約為 185°F)時，EPD 微粒的移動速度會顯著的降低。這是因為黏膠熱融的不完全導致導電層界面和 Microcup<sup>®</sup> EPD 表面接觸不良，或因氣泡存在而形成不當的絕緣層。這兩個現象都不利於電泳微粒在電場中的速度。圖 7 所示為在粘合溫度比黏膠的活化溫度高出 50°C 時，粘合壓力和速度對 t<sub>on</sub> 的影響。在所有的例子中，當驅動電壓在 ±10 至 ±20V 之內時，EPD 顯示板的對比度可達 10~12。值得注意的是 Microcup<sup>®</sup> EPD 的 t<sub>on</sub> 會隨粘合速度

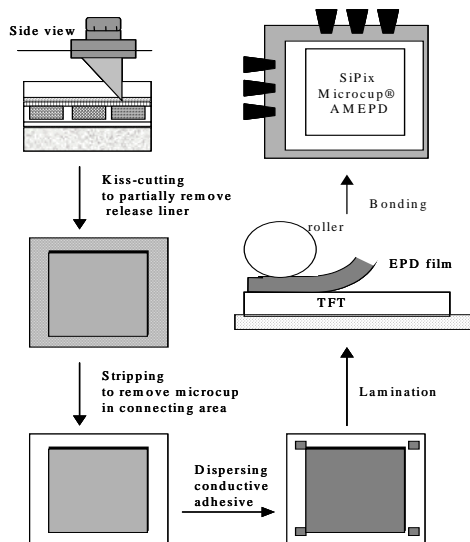


Figure 3 Post-converting process flow chart of AMEPDs.

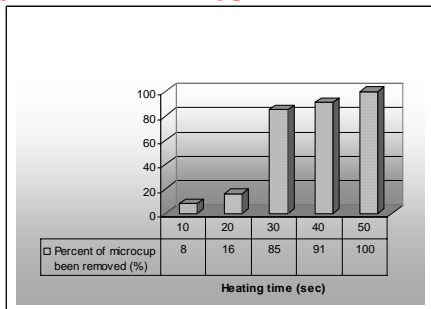


Figure 4 Time needed to remove the Microcup from an ITO surface. (Microcups<sup>®</sup> were sult 70°C with the present of stripping fluid).

的增加而增大 (圖 7A)，而粘合壓力的變化對  $t_{on}$  的影響則不大 (除非當壓力在  $\leq 40\text{psi}$ )。(圖 7B)

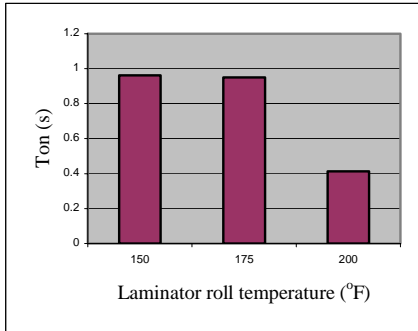


Figure 6. Effect of lamination temperature on  $t_{on}$  at a driving voltage of  $\pm 15\text{V}$ .

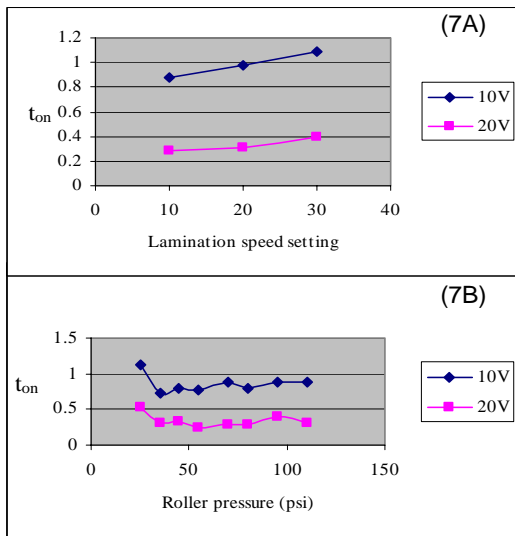


Figure 7 Effect of lamination speed (7A) and roller pressure (7B) on display  $t_{on}$  at  $\pm 10$  and  $\pm 20\text{V}$ .

相同的剪切和去膜制程也可用於製造被動式矩陣驅動的電子紙 (PMEPD) 產品。圖 8 顯示了兩種經貼合後超柔軟的 Microcup® EPD。這種超柔軟的 EPD 具有很好的整體性能：當在 EPD 的上下電極膜加上  $5\text{Kg}/\text{in}^2$  的剪力，與  $60^\circ\text{C}$  時，至少在 12 小時內沒有觀測到任何蠕變或變形的現象。

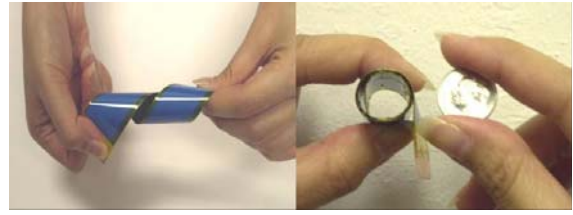


Figure 8 Pictures of Microcup® EPDs showing the super-flexibility.

## AM 和 DD Microcup® EPD

圖 9A 中的是一個 3.5" 的主動式矩陣驅動樣品，底板為由市面購得的  $320 \times 240 \times 3\text{QVGA}$  反射型彩色 a-Si TFT 底板。為了簡化驅動程序，我們將這個樣品中所有的紅、綠、藍三色素聯接在一起以組成  $223.5\mu\text{m} \times 223.5\mu\text{m}$  的單色 pixels。我們選用一般的 STN LCD driver IC 和 TFT gate driver IC 來驅動顯示器，並利用 FPGA 來控制灰階。圖 9B 所示為此樣品之電-光特性曲線。在驅動電壓為  $\pm 10\text{V}$  時，顯示圖像對比度為 8，frame rate 為  $300\text{msec}$ 。

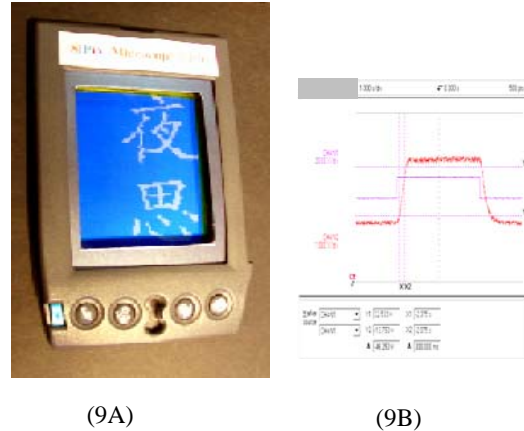


Figure 9 (A) SiPix prototype AMEPD (B) Electro-optical response of the AMEPD sample: CR = 8:1 at  $\pm 10\text{V}$  with a frame rate of  $300\text{ms}$ .

SiPix 形式任意的 Microcup® EPDs 可被貼合在各種不同種類的底板電極上，做成不同電子紙成品，例如：電子價格標籤、信用卡、電子看板或廣告。圖 10 所示為一個配有 Microcup® EPD 的信用卡樣品。



Figure10 Smart card integrated with SiPix

## 結論

SiPix 形式多樣化的 Microcup<sup>®</sup> EPD 卷成品可以經過簡單而有效的後加工制程轉換成各種不同的電子紙顯示器。這樣的產品模式可以顯著地降低加工過程的材料損耗，使產量提高。同時，這種以客戶為主的後加工制程可以大大加快 EPD 產品商業化的進程。

## REFERENCES

- [1] R.C. Liang, J. Hou, and H.M. Zang; IDW 02' Proceedings, EP2-2, p. 1337, Dec. 2002, Hiroshima, Japan.
- [2] R.C. Liang, J. Hou, H.M. Zang, and J. Chung; IDMC 03' Proceedings, Fr-17-05, p. 351, Feb. 2003, Taipei, Taiwan.
- [3] R.C. Liang; USDC Flexible Microelectronics and Display Conferences; Feb. 3-4, 2003, Phoenix, AZ.
- [4] R.C. Liang, J. Hou, J. Chung, X. Wang, C. Pereira, and Y. Chen; SID 03' Digest, paper 20.1, P. 838, May 2003, Baltimore.
- [5] R.C. Liang, Jack Hou, HongMei Zang, Jerry Chung and Scott Tseng; SID J., in print (2003).
- [6] R.C. Liang and S. Tseng; IDMC 03' Proceedings, We-02-04, p. 41, Feb. 2003, Taipei, Taiwan.
- [7] H.M. Zang and R.C. Liang, Spectrum, **16**(2), 16 (2003).
- [8] J. Chung, J. Hou, W. Wang, L.-Y. Chu, W. Yao, and R.C. Liang, IDW'03, Paper AMD2/EP1-2. Dec. 2003, Fukuoka, Japan.