

# 補償有機發光二極體衰減與薄膜電晶體臨界電壓漂移之新式畫素電路設計

林志隆

國立成功大學電機工程系

整理摘錄自作者發表之IEEE Electron Device Letters, vol. 28, pp. 129-131, February 2007.

**主**動式有機發光二極體(AMOLED)顯示器擁有厚度薄、重量輕、自發光、低驅動電壓、高效率、高對比、高色彩飽和度、反應速度快、可撓曲等特色。被視為繼TFT-LCD之後，最被看好的新興顯示技術。OLED依驅動方式可分為被動式矩陣驅動(PMOLED)與主動式矩陣驅動(AMOLED)兩種，如圖一所示。PMOLED當資料未寫入時並不發光，只在資料寫入期間發光。這種驅動方式結構簡單、成本較低，早期的業者皆朝此技術發展。但是因為驅動方式的原因，當發展大尺寸顯示器時耗電量大、壽命短的問題相當嚴重。

主動式與被動式最大的差異在於AMOLED每一畫素皆有一電容儲存資料，讓每一畫素皆維持在發光狀態。而其驅動方式適合發展大尺寸與高解析度之顯示器，使得AMOLED成為未來顯示器即可撓曲式顯示器發展的重要方向。

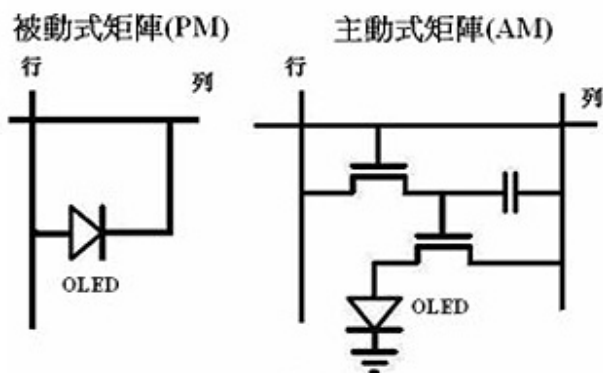
有機發光二極體元件所表現出的亮度是由流過之電流大小所決定的，AMOLED雖適合大尺寸、高解析度之發展，但其架構較PMOLED複雜，並且受到製程影響，面臨到許多影響顯示品質的問題，如下所示：

(1)臨界電壓(Threshold voltage)的變異：

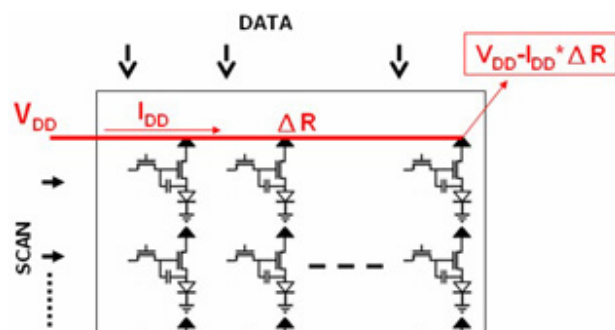
如圖一所示，在最原始的AMOLED中， $I_{OLED}$ 是由 $V_{DATA}$ 利用操作在飽和區之TFT來轉換成的電流，其公式為  $I_{OLED} = K(V_{GS} - V_{TH})^2$ 。其中 $V_{TH}$ 是指TFT的臨界電壓，所以若因製程上的差異或是長時間操作之後TFT特性的改變造成 $V_{TH}$ 的變異，便會造成AMOLED亮度顯示不均勻的現象。

(2)OLED跨壓上升與發光效率：

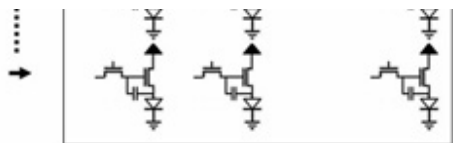
由於OLED材料老化的現象，在長時間操作下，會發生跨壓逐漸上升且發光效率下降的問題。跨壓的上升可能會影響到薄膜電晶體的操作，以N型薄膜電晶體為例，若OLED接在薄膜電晶體的源極端，當跨壓上升時會直接影響到薄膜電晶體的閘極-源極之間的端電壓，也就是直接影響流過的電流。而在發光效率方面，若因長時間操作造成材料老化發光效率下降，那即使是流過相同的電流也無法產生預期的亮度。若RGB三色的發光效率下降程度不同，更會發生色偏的問題。但材料改善不易，因此這並不是一個能輕易解決的問題。



圖一、PMOLED(PM)與AMOLED(AM)畫素電路圖



特性	非晶矽(a-Si)	低溫多晶矽(LTPS)
電子移動率	低 大尺寸(NMOS)	高 小尺寸(CMOS)
製程技術	成熟	新穎
$V_{TH}$ 一致性	好	差
$V_{TH}$ 漂移性	明顯	不明顯
系統整合性	差	好



圖二、I-R Drop示意圖

### 3) I-R Drop的影響：

隨著面板尺寸的加大，訊號線逐漸拉長，其內阻效應會日益明顯，最後會影響面板亮度的均勻性，此現象稱之為I-R Drop，如圖二所示，VDD訊號線會隨著內阻效應產生壓差，導致畫素電路內電流的不穩定。

目前最主流的兩種製程方式為低溫多晶矽(LTPS)和非晶矽(a-Si)，因製程上的差異，使得a-Si技術只能用N型的TFT來設計，而LTPS則沒有此限制；然而，a-Si最大的優點便是成本較低、技術純熟且穩定性較高，比較不會有 $V_{TH}$ 的變異，除此之外，在大尺寸面板的情況之下，受限於技術的純熟性，LTPS尚無法滿足大尺寸的需求，表一為兩者之間的比較。

由於AMOLED具有上述之缺點，因此過去有許多研究主要在解決 $V_{TH}$ 變異的情形，而較少考慮到OLED發光效率降低的現象，為了改善此一問題，過去有利用光耦合回授技術(optical feedback)或交流驅動原理(AC driving)來加強OLED亮度降低的情況，但其效果並不是很理想。因此本文首先提出一新式電壓型畫素補償電路設計，採用低溫多晶矽製程技術，可以順利補償薄膜電晶體在製程上的差異或是老化程度不同而產生臨界電壓的變異，為了避免I-R Drop的影響，採用N型的薄膜電晶體作為驅動元件，並首次提出電壓回饋方式改善OLED材料老化時會發生跨壓上升及發光效率降低的問題。

圖三(a)為新式畫素補償電路的架構，由三個N型薄膜電晶體、兩個P型薄膜電晶體與一個電容所組成，需要兩條掃描線來控制此電路。其中TFT1是用於驅動有機發光二極體，其餘的TFT2至TFT5是作為開關使用，電容則是用於儲存資料電壓。在所有作為開關的TFT中，TFT2是用於在補償階段時切斷VDD與畫素間的連接，使補償階段能正確進行；TFT3則是用於偵測OLED的跨壓，藉由電容耦合效應進行適當的補償動作；TFT4則是讓TFT1能夠形成二極體接法(diode-connection)，讓電路在補償階段時，能夠產生TFT1本身的 $V_{TH}$ 值並儲存在電容內；TFT5為一般畫素電路都會具備的開關，用於控制資料輸入的時間。圖三(b)則為電路控制訊號之時序圖，與傳統畫素電路相比還需要多一組額外的控制線來控制電路補償的動作。其電路操作步驟主要可分為三個階段做說明：

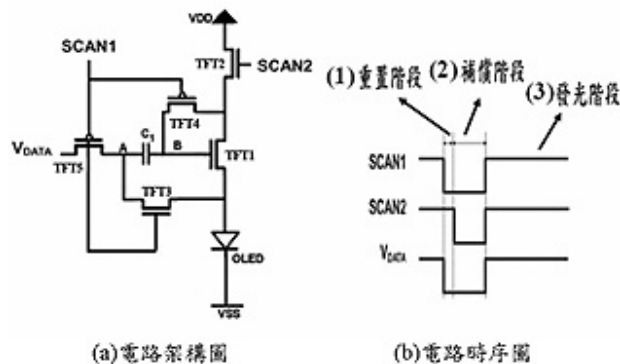
#### 一、重置階段：

由圖三(b)可知，訊號線1 (SCAN1)為低電位；而訊號線2 (SCAN2)為高電位。因此，除了TFT3之外，其他作為開關的TFT皆為導通，此時A點為V<sub>DATA</sub>，B點則往V<sub>DD</sub>充電。這是為了將電容內所儲存上一畫面的電壓值重置，才不會因此而影響到接下來補償動作的正確性。

#### 二、補償階段：

此為我們的補償電路最主要的階段，SCAN1維持原電位而SCAN2切換至低電位，TFT2與TFT3關閉，TFT4與TFT5導通。此時TFT1因TFT4導通而形成二極體接法，由於上一階段將B點充電至一高電壓，加上TFT2關閉，所以此時B點會開始經由TFT4放電。當放電至無電流時，由電路上可知B點電壓會被鎖定在 $V_{OLED\_0} + V_{TH\_TFT1}$ ，且此時A點維持在V<sub>DATA</sub>。其中 $V_{OLED\_0}$ 與 $V_{TH\_TFT1}$ 分別為OLED與TFT1的臨界電壓。

表一、a-Si與LTPS製程比較



圖三、電路架構圖與時序圖

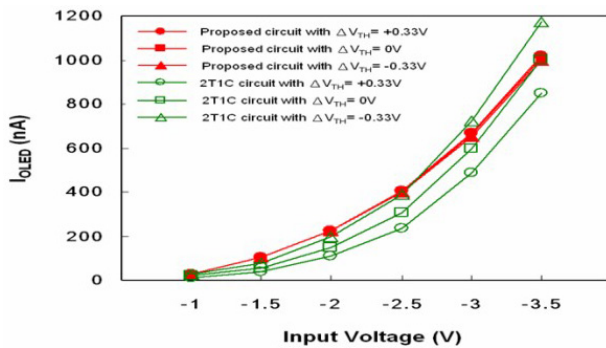
### 三、發光階段：

最後電路進入發光階段，TFT2與TFT3導通，TFT4與TFT5關閉。此時TFT1的汲極接到VDD端，A點電壓則經過TFT3連接到TFT1的源極，其值變成 $V_{OLED\_1}$ ，由於B點為浮接狀態，電容儲存之電壓為 $V_{OLED\_0}+V_{TH\_TFT1}-V_{DATA}$ ，所以B點此時電壓將同步跳成 $V_{OLED\_1}+V_{OLED\_0}+V_{TH\_TFT1}-V_{DATA}$ ，其中 $V_{OLED\_1}$ 為OLED發光時之跨壓。因此可以發現此時TFT1的 $V_{GS}$ 電壓值變為  $V_{OLED\_0}+V_{TH\_TFT1}-V_{DATA}$  帶入電流公式後，可以得到式(1)。

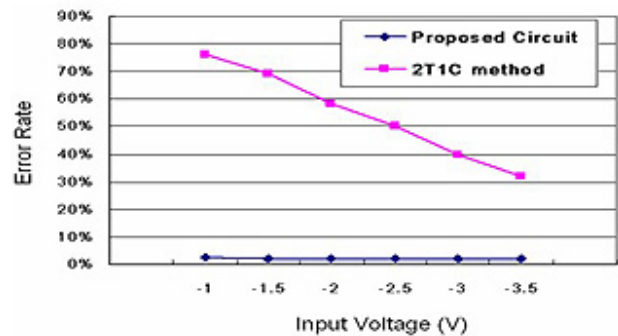
$$\begin{aligned} I_{OLED} &= \frac{1}{2} \cdot k \cdot (V_{GS} - V_{TH\_TFT1})^2 \\ &= \frac{1}{2} \cdot k \cdot (V_{OLED\_0} + V_{TH\_TFT1} + V_{OLED\_1} \\ &\quad - V_{DATA} - V_{OLED\_1} - V_{TH\_TFT1})^2 \\ &= \frac{1}{2} \cdot k \cdot (V_{OLED\_0} - V_{DATA})^2 \dots\dots\dots(1) \end{aligned}$$

從式(1)中可以發現流過OLED的電流與TFT1的 $V_{TH}$ 無關，並且在電流公式中出現了 $V_{OLED\_0}$ 的項，這使得當OLED因長時間發光造成材料的衰減而出現跨壓上升發光效率下降的現象時，我們的補償電路會藉跨壓上升來產生額外的電流來補償發光效率下降的現象。

本電路使用AIM-SPICE進行電路模擬與補償效果的驗證。由模擬結果可以明顯的發現，所設計的新式畫素電路可以有效改良面板亮度不均的現象及改善OLED長時間發光效率降低的情形。經由實際下線量測所得之傳統2T1C電路，明顯含有亮度下降的問題，而所實驗之OLED面板尺寸為2吋，解析度為176X220。

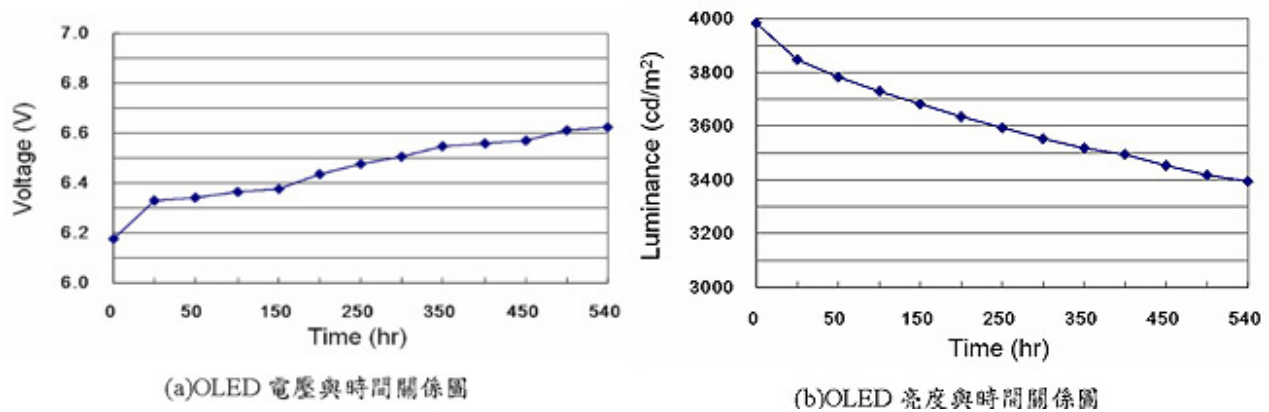


圖四、不同的資料電壓輸入時通過OLED的電流



圖五、與傳統2T1C電路比較電流誤差比

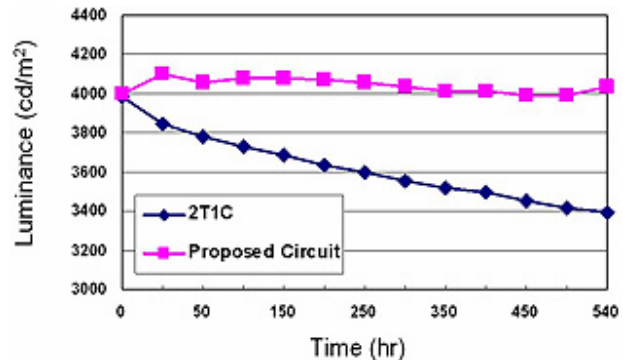
如圖四所示，將這個電路與傳統2T1C的畫素電路作比較。先調整2T1C的電壓準位，使其輸入電壓範圍與本電路相近後。發現當 $V_{TH}$ 發生變異時傳統2T1C的畫素電路會產生相當大的變異，而所提出的補償電路則展現出相當高的一致性。圖五則為本電路與傳統2T1C的畫素電路經過正規化之後，在不同的輸入電壓時，誤差值的比較圖。可以發現傳統2T1C電路誤差為32%~76%不等，但所提出的電路卻都能把誤差縮小在5%以下。此誤差值的計算方式為模擬不同 $V_{TH}$ 變異 ( $\Delta V_{TH} = +0.33\text{ V}$ 、 $0\text{ V}$ 、 $-0.33\text{ V}$ )，取其最大值與最小值的差來除以平均值。從這些模擬數據可知，此補償電路能在 $V_{TH}$ 產生變異時，順利作出正確的補償。讓每個畫素電路被輸入相同灰階電壓時都能產生相同電流，使OLED發出的光都是相同亮度。



圖六、OLED亮度與跨壓對時間實驗關係圖

以傳統2T1C為架構，針對OLED的發光特性進行實驗量測，將OLED點亮後，把亮度調至4000 cd/m<sup>2</sup>，並紀錄此時流過OLED之電流值。以定電流方式紀錄OLED隨操作時間拉長，紀錄其跨壓與亮度變化的情形。從圖六(a)中可清楚了解OLED在經過540小時的操作，可以發現OLED因材料老化造成跨壓上升的情形，圖六(b)則因為發光效率降低，使相同電流流過OLED亮度卻會逐漸下降的情形。可以發現在經過540小時操作之後，跨壓從6.18V上升至6.63V，而OLED的亮度會從原本大約4000 cd/m<sup>2</sup>下降為3400 cd/m<sup>2</sup>。此新電路便是利用偵測跨壓的上升，經電路回授來產生額外電流以補償亮度下降的問題。此補償電路目的是讓OLED能夠在長時間操作後，既不會受OLED跨壓影響流過OLED的電流，也不會因為OLED發光效率降低而使整體亮度下降。

將實驗所得到OLED的跨壓分別代入模擬參數中，並將模擬出的電流值配合當時的發光效率來計算其亮度的變化。圖七即為模擬的結果，從圖中可以發現傳統2T1C電路與所設計的新式畫素電路在一開始的亮度皆為4000cd/m<sup>2</sup>，經過540個小時後，傳統電路其亮度已經低於3500cd/m<sup>2</sup>，而我們所設計的電路幾乎維持在相同的亮度。故本文所提出的新畫素電路可以提供一個額外的電流來補償這個問題，使面板在長時間操作下亮度不會下降。



圖七、與傳統電路比較，新式電路其OLED亮度可維持一致性

AMOLED是新興的顯示技術，受限於本身材料的限制與製程良率的問題，導致製作成本居高不下，然而OLED本身具備的特性(輕薄、省電、高解析度及色彩飽和度、高反應速率)更是相較於目前成熟的TFT-LCD技術更為優秀，我們所提出的畫素補償電路，不僅有效解決薄膜電晶體臨界電壓漂移的問題，更是首次提出利用電壓回饋方式改善OLED發光亮度下降的現象，對AMOLED技術提供一個新的研究方向。而本技術與友達光電合作實際下線量測，實驗結果證明此技術可以確切的改善OLED長時間發光亮度下降的問題，此外亦已完成申請中華民國及美國專利的程序。