

# 電壓驅動方法之新式畫素補償電路設計

林志隆助理教授\*, 蔡宗廷

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. 489-491, June 2007.

**主**動式有機發光二極體(AMOLED)一直被視為最具前瞻性的顯示器之一，由於它具備輕薄、高色彩飽和度、自發光、反應時間快、高對比度及可撓曲等特性，因此被認為有可能成為下一代顯示器的主流地位。而主要的畫素電路驅動方式大多可分為兩種：

表一、電壓驅動與電流驅動比較

驅動方式	$V_{TH}$ 補償	低灰階充放電時間	訊號源製作
電壓驅動	可	快	易
電流驅動	可	慢	難

## (1) 電流驅動

電流驅動方面主要可以分為兩種類型，一種是電流複製(Current Copy)，另一種便是電流鏡架構(Current Mirror)。前者主要是利用訊號線的控制及結構上的修改盡可能的達到複製輸入資料電流(IDATA)，技術上來說，就是利用電容儲存足夠驅動相同電流的電壓值，接著控制訊號將其產生的電流轉移至OLED上；後者則是藉由製程產生不同長寬比的結構來產生電流。電流驅動方式可以補償畫素電路薄膜電晶體(Thin-Film Transistor, TFT)製程上的變異性，例如：漂移率(Mobility)，臨界電壓(Threshold Voltage,  $V_{TH}$ )，然而，由於電流源製作不易，且低灰階時資料電壓充放電時間較長，所以較不適合高解析度及大尺寸面板的應用。

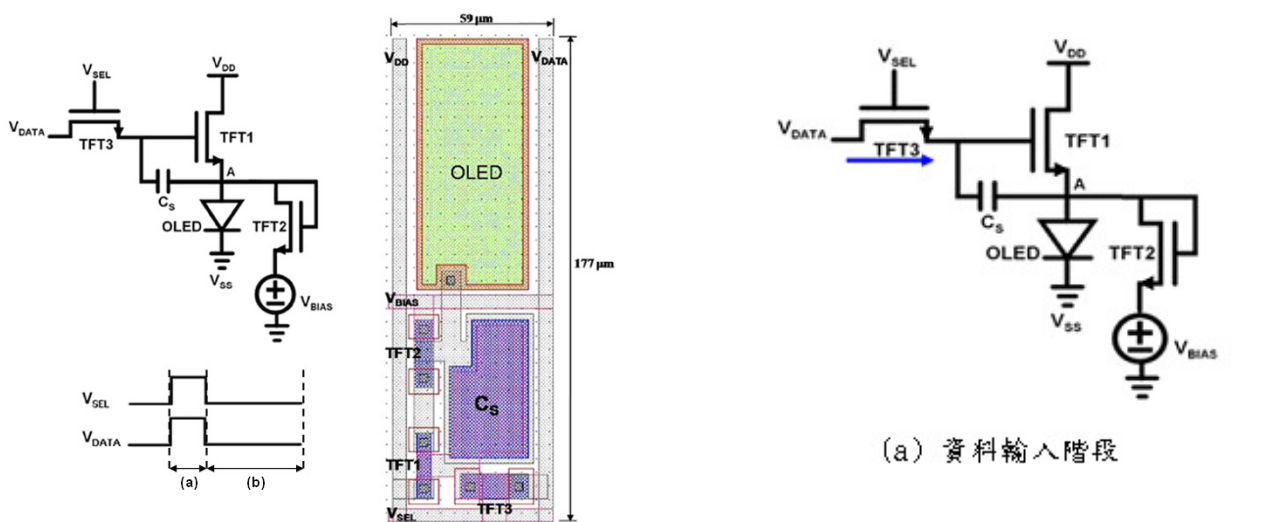
## (2) 電壓驅動

電壓驅動方式也可分成兩種類型，一種為自我補償方式，主要是利用Driving TFT產生 $V_{TH}$ 電壓來做補償，另一種則是利用TFT匹配的方式，藉由相同的電子特性使TFT匹配產生相同的 $V_{TH}$ 電壓達到補償的效果，電壓驅動方法由於補償速度快，除了補償臨界電壓的差異之外，亦較符合高解析度面板的需求，而電流驅動與電壓驅動的比較，如表一所示。

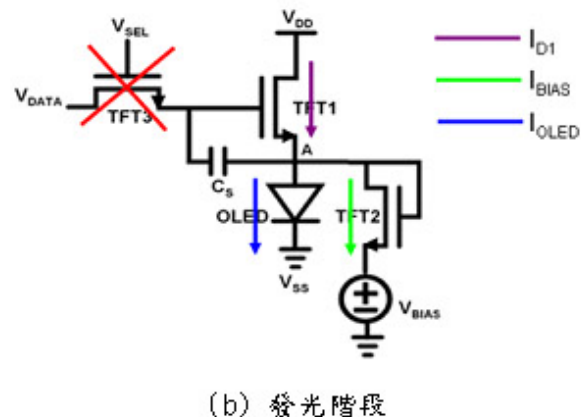
過去的畫素電路設計，雖然可以達到補償變異的效果，但卻因結構過於複雜而導致開口率過低，進而使面板亮度降低，因此，近幾年的畫素電路相關研究，一直往最精簡的架構方式來設計畫素電路，傳統的畫素電路只使用兩顆薄膜電晶體與一顆電容(Capacitor)，雖然是最簡單的電路架構，但並沒有補償 $V_{TH}$ 變異的效果，而導致面板亮度不均勻。

本篇所提出的電路架構，是由3T1C所組成，其中的薄膜電晶體均為N型，可以由低溫多晶矽(LTPS)與非晶矽(a-Si)製程所製作，不同於以往的電流驅動與電壓驅動方式，本畫素電路不需額外的時間去儲存臨界電壓的變異，因此，其畫面的更新速率較能夠滿足高解析度面板所需畫面更新速率的要求，而且訊號線與傳統的

2T1C畫素電路相同，皆僅需一條訊號線，此外，相較於其他畫素補償電路，僅較傳統2T1C電路多一個TFT，卻可以有效地降低整個畫素電路的複雜性及改善開口率。本電路提出了一項創新的驅動畫素電路架構，相信對於往後OLED的發展會有顯著的幫助。



圖一、電路架構、訊號線與佈線圖



圖二、電路操作步驟示意圖

圖一為電路架構圖與控制訊號時序圖和其電路佈線圖。此電路由三個N型TFT所組成，在訊號線方面，與傳統的畫素電路相同只需要一條訊號線與一條掃描線，可節省在電路佈線時的面積且增加面板的開口率。電路操作主要分為兩個階段，分別為資料輸入與發光階段，如圖二。以下便針對兩個階段做說明：

#### 一、資料輸入階段：

如圖二(a)，此階段選擇線( $V_{SEL}$ )由低電位至高電位，導通TFT3且讓畫素內灰階電壓經由TFT3儲存在 $C_s$ 電容中。

#### 二、發光階段：

在前一階段結束後，如圖二(b)所示， $V_{SEL}$ 由高電位至低電位，TFT3關閉且流至OLED的電流由TFT1與TFT2的電流差所決定，此時OLED開始發光。由於TFT2之汲極與閘極相接且 $V_{BIAS} \leq V_A - V_{TH\_T2}$ ，其動作就像一個二極體，操作在飽和區。此時OLED的電流公式如式(1)表示

$$\begin{aligned}
I_{OLED} &= I_{D1} - I_{BIAS} \\
I_{D1} &= \frac{1}{2} k_{T1} (V_{GS\_F1} - V_{TH\_F1})^2 \\
I_{BIAS} &= \frac{1}{2} k_{T2} (V_{GS\_F2} - V_{TH\_F2})^2 \quad (\text{Saturation region}) \\
\Delta V_{TH\_DIFF} &= V_{TH\_F1} - V_{TH\_F2}
\end{aligned} \tag{1}$$

此時 $\Delta V_{TH\_DIFF}$ 所表示的是TFT1與TFT2兩者之間臨界電壓的變異差值。在OLED畫素電路製作上，由於不同畫素電路中TFT之 $V_{TH}$ 電壓會因為長時間使用及製程上的差異而有所變異，因此我們將公式(1)對 $V_{TH}$ 做偏微分來計算其電流對 $V_{TH}$ 變異的關係，如公式(2)所示。

$$\begin{aligned}
\frac{\partial I_{OLED}}{\partial V_{TH}} &= -k_{T1}(V_{GS\_F1} - V_{TH\_F1}) + k_{T2}(V_{GS\_F2} - V_{TH\_F2}) \\
&= -k_{T1}V_{\phi 1} + k_{T2}V_{\phi 2} = -gm_1 + gm_2
\end{aligned} \tag{2}$$

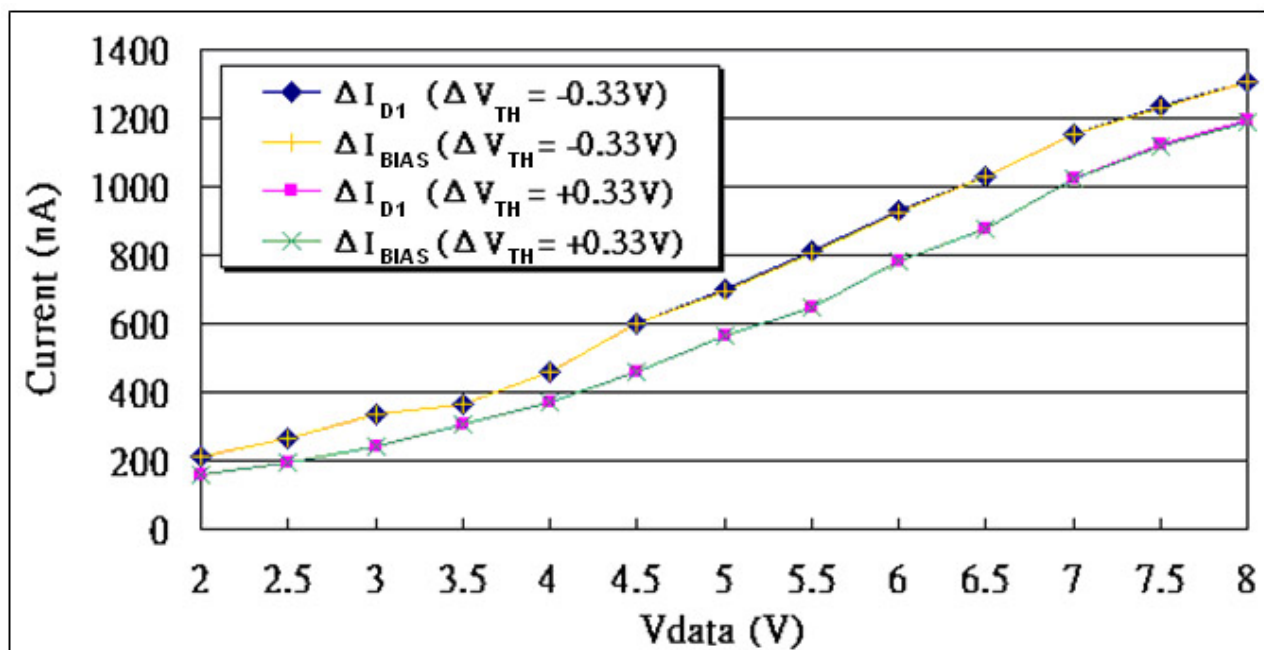
由上述之式子可知，若公式(2)為零，即表示通過OLED之電流不會受到TFT臨界電壓變異的影響進而維持面板均勻亮度，如公式(3)所示：

$$\begin{aligned}
\frac{\partial I_{OLED}}{\partial V_{TH}} = 0 &\Rightarrow gm_1 = gm_2 \Rightarrow \left(\frac{W}{L}\right)_1 V_{\phi 1} = \left(\frac{W}{L}\right)_2 V_{\phi 2} \\
V_{\phi 1} &= V_{GS\_F1} - V_{TH\_F1} = V_{DATA} - V_A - V_{TH\_F1} \\
V_{\phi 2} &= V_{GS\_F2} - V_{TH\_F2} = V_A - V_{BIAS} - V_{TH\_F2}
\end{aligned} \tag{3}$$

由公式(3)可清楚地了解到，不同畫素電路之OLED驅動電流與TFT所設計的寬度(Width)與長度(Length)比有極大的關係，當 $V_{BIAS}$ 與TFT1、TFT2之設計的寬度與長度正確且適當時，會使得 $gm_1=gm_2$ ，流過OLED的驅動電流就不會隨著 $V_{TH}$ 的變異而改變。

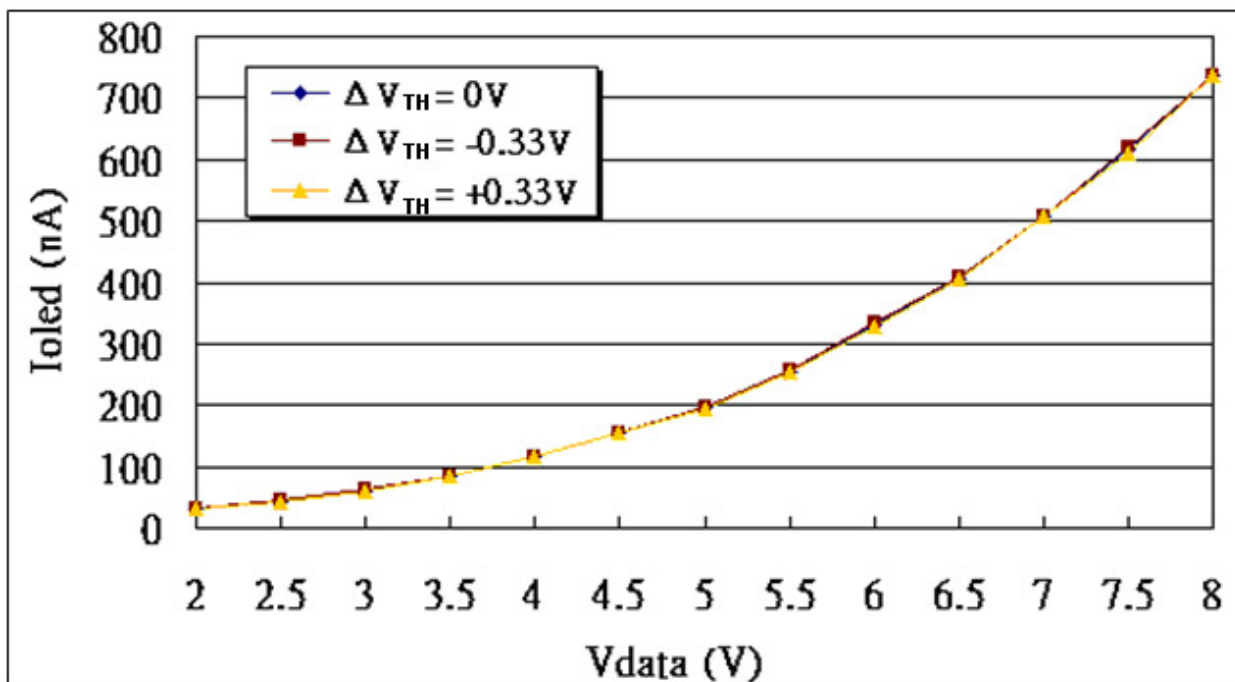
在本電路採用電晶體匹配的方式，利用ELA製程使的TFT1與TFT2的電子特性相同，因此我們假設TFT1與TFT2之 $V_{TH}$ 值變異量是相同的( $\Delta V_{TH1} = \Delta V_{TH2}$ )，且輸入最適當的 $V_{BIAS}$ 電壓值促使公式(3)成立，即表示 $gm_1=gm_2$ ，此時 $\Delta I_{D1}$ 會約等於 $\Delta I_{BIAS}$ 。所以在不同的畫素中，相同的灰階電壓下，流過OLED的驅動電流會相同，不會隨著 $V_{TH}$ 的變異而OLED面板亮度不均。

我們利用AIM-SPICE進行此電路模擬與補償效果驗證。 $V_{DD}$ 為電路操作之最高電壓； $V_{SS}$ 為接地點。接著開始進行電路的模擬，主要針對TFT的 $V_{TH}$ 變異影響部分加以模擬並驗證。



圖三、在不同的  $V_{TH}$  變異時，產生的  $\Delta I_{D1}$  與  $\Delta I_{BIAS}$  電流

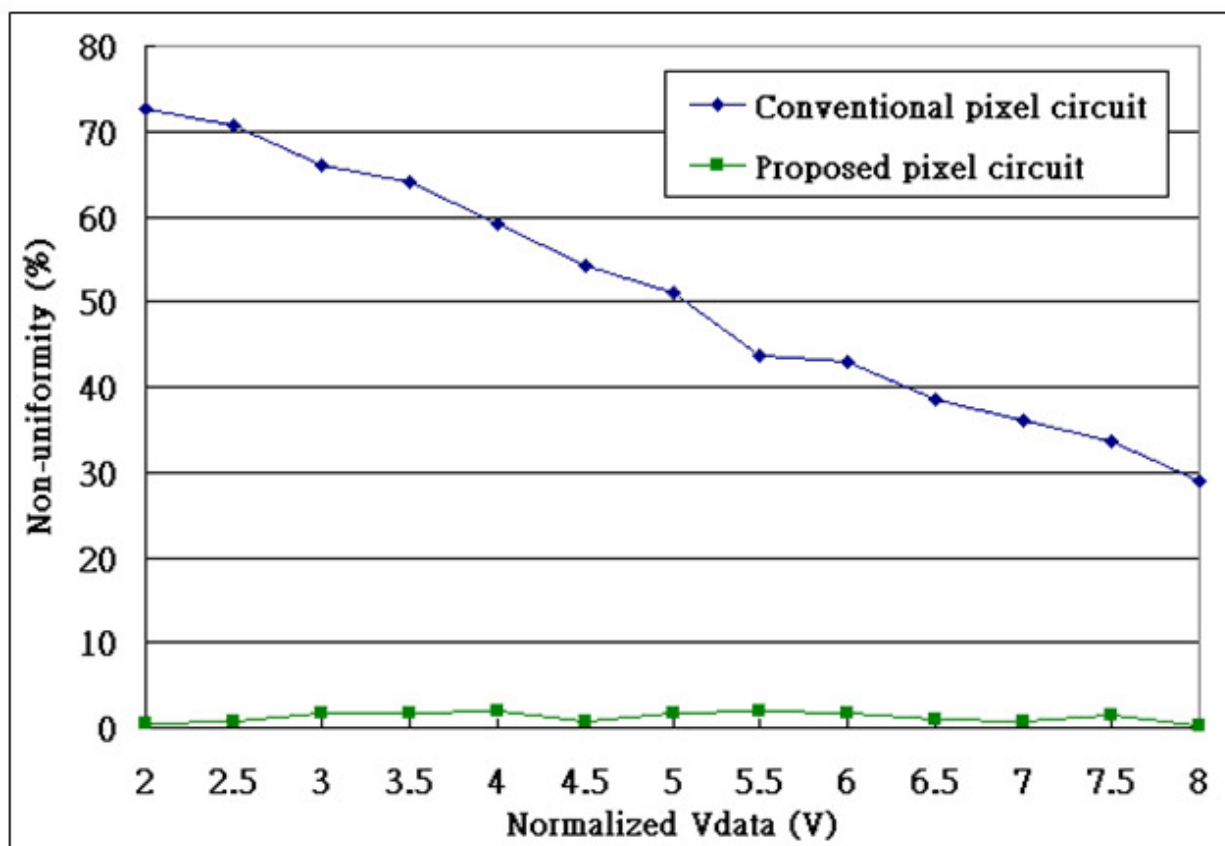
由前面的敘述可以了解到通過OLED的電流值是由流過TFT1( $I_{D1}$ )與TFT2( $I_{BIAS}$ )電流的差值所決定，針對TFT的 $V_{TH}$ 產生變異作模擬，當 $\Delta V_{TH} = +0.33V$ 、 $\Delta V_{TH} = -0.33V$ 時，原本通過TFT1的電流會產生 $\Delta I_{D1}$ ，而通過TFT2的電流會產生 $\Delta I_{BIAS}$ ，從圖三所示可清楚了解在不同的 $V_{TH}$ 變異與輸入不同的資料電壓時， $\Delta I_{D1}$ 幾乎與 $\Delta I_{BIAS}$ 的電流相同，因此當 $V_{TH}$ 產生變異所流過OLED的電流亦不受任何影響。



圖四、不同灰階電壓時OLED電流補償的情形

圖四表示當臨界電壓產生變異時( $\Delta V_{TH} = +0.33V$ 、 $\Delta V_{TH} = 0V$ 、 $\Delta V_{TH} = -0.33V$ )，輸入不同的灰階電壓與流過OLED電流值的關係圖。由圖可知不同的灰階電壓所流過OLED的電流值幾乎相同，其電流誤差的範圍均小於1.5%，清楚地說明輸出電流可以有效降低 $V_{TH}$ 變異的影響，以維持面板亮度的一致性，此外，此電路的

灰階電壓範圍為2V至8V，相較於其他畫素補償電路更適合於高解析度面板的應用。



圖五、本電路與傳統 2T1C 電路的誤差比較

圖五則是本電路與傳統2T1C的畫素電路在不同灰階電壓時，電流非一致性的比較圖。可以發現傳統2T1C畫素電路誤差皆在為25%以上，但本次所提出的畫素補償電路卻都能把誤差縮小在2%以下。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。讓每個畫素電路輸入相同灰階電壓時都能產生相同電流，使OLED發出相同的亮度。

在模擬中，此次提出的畫素電路首先應假設TFT1與TFT2的電子特性均為一致，但在面板製作時因為製程的影響導致各TFT的電子特性會產生些許誤差時，仍會影響電路操作，從模擬結果了解此電路對於 $V_{TH}$ 變異的誤差容許範圍約為0.08V，此時的電流誤差範圍約為5%。將公式(1)中TFT1與TFT2的 $V_{TH}$ 差值( $\Delta V_{TH\_DIFF}$ )帶入公式(2)可得公式(4)

$$\frac{\partial I_{OLED}}{\partial V_{TH}} = -k_{T1}(V_{GS\_F1} - V_{TH\_F1}) + k_{T2}[(V_A - V_{BMS}) - (V_{TH\_F1} - \Delta V_{TH\_DIFF})] \quad (4)$$

在面板製作完成後，假設 $|\Delta V_{TH\_DIFF}|$ 的值超過了0.08V時，藉由調整VBIAS的電壓校正便可使 $gm_1=gm_2$ 達到此電路的最佳效果，從文獻中可以了解 $\Delta V_{TH\_DIFF}$ 的誤差值在最差的情況下大約為0.3V，也就是 $\Delta V_{TH\_DIFF}$ 增加了0.3V或者減少0.3V，此時將VBIAS也適當得增加0.3V或者減少0.3V以穩定在 $V_{TH}$ 漂移時通過OLED的電流值，然而此調整VBIAS的方法只適用於面板一開始製作完成時，因為在長時間的操作下面板內的各個畫素電路所使用情況不盡相同，如果還需調整VBIAS去做校正是比較難達成的。

近年來所發表的相關文獻大多採用電壓補償與電流補償兩種方法，但其電路架構大部分都過於複雜，此外，

隨著大尺寸面板的應用，解析度的要求越來越高，掃描時間也相對地必須越來越快，因此提高開口率與快速掃描就顯得非常的重要，因此本研究提供一新的電路設計方法，僅利用三顆N型TFT與一顆電容完成此畫素電路並有效提高開口率，所設計的畫素電路也不同于傳統畫素補償電路的方法，僅利用TFT的電子特性與額外的電壓調整，成功的設計一新式畫素補償電路，不需要額外的補償階段來儲存臨界電壓的資訊，即可有效降低掃描時間與改善面板亮度不均的現象，因此本電路非常適合未來大尺寸面板的應用，目前亦申請中華民國專利中。

*Copyright 2009 National Cheng Kung University*