

## 互補式金氧半影像感測器之少數雜散載子分析

林東龍、王俊智、魏嘉玲\*

國立成功大學電機資訊學院電機工程學系

clwei@ee.ncku.edu.tw

IEEE ELECTRON DEVICE LETTERS, vol. 29, no. 4, pp. 341-343, Apr. 2008

CCD與CMOS是目前影響感測器的兩大主流技術。早期互補式金氧半導體的影像感測器因為解析度跟動態範圍的特性無法跟由 CCD所構成的 CCD 影像感測器相抗衡。所以，有相當長的時間，高解析度或高動態範圍的影像感測器晶片係由 CCD 影像感測器所主導[1]。

隨著 CMOS 積體電路製程的縮小化與精進，目前互補式金氧半導體的影像感測器已經漸漸成為許多高階影像感測器的主要核心。高解析度不再是互補式金氧半導體影像感測器的難題[2]。而高動態範圍則可以透過各種不同的讀取電路的設計來達成[3]。更進一步地，以標準互補式金氧半導體製程所製成的影像感測器可以輕易地與其它互補式金氧半元件嵌合在同一塊晶片上。互補式金氧半影像感測器更具有低功率消耗的優點，使得互補式金氧半影像感測器有其高度的前景。

一般而言，正常操作的電晶體就如同下圖1所示。當閘極由低電位轉高電位時，載子會被閘極吸引而形成通道。高電位轉低電位時，則大部分載子會經由汲極或源極吸收。而少部分載子會進入基底內，往任意方向擴散後與多數載子再結合。低速操作下，少數載子產生的速度不快，大部分都可以被吸收。但高速操作的電路因為切換電晶體的速度增加，會造成少數載子因吸收不及，而有大量載子擴散到基底的現象發生。這樣的載子擴散到基底後，除非被多數載子結合，否則會經由基底傳遞到像素內，被光吸收區所吸收。這些被吸收的載子會變成光電流的一部分，造成影像的失真。這些少數雜散載子的量會造成影像的失真，甚至造成影像的飽和。

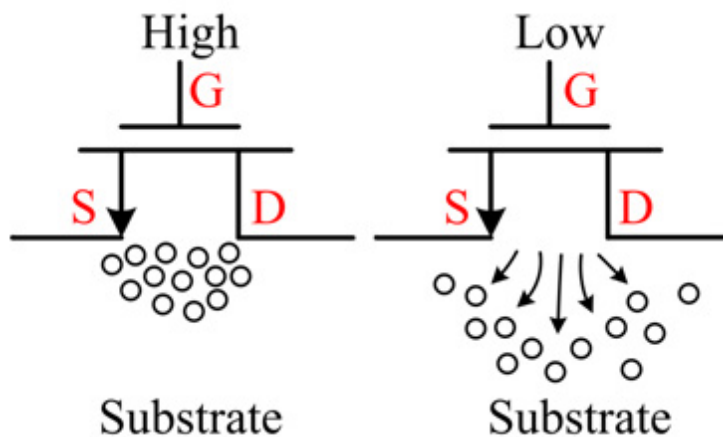


圖1、電晶體操作下，載子擴散情形



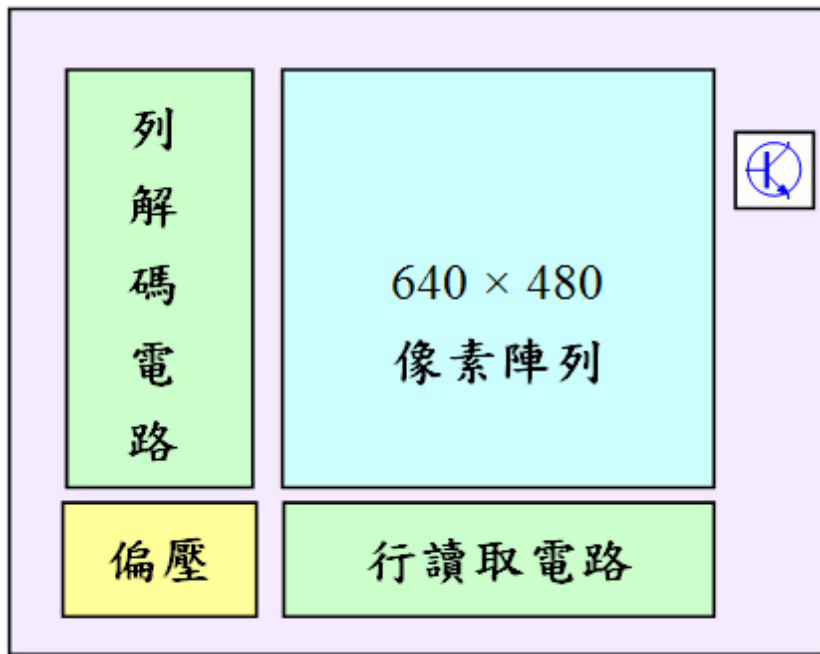


圖2、晶片系統架構

目前互補式金氧半導體標準製程中，採用具有輕摻雜P型基底磊晶圓，使得載子可以在基底內作長距離擴散。以上兩個原因，使得這樣的少數載子的影響劇增。這樣的雜訊干擾往往都被電路設計者忽略，僅加上簡單的保護環加以避免。本研究的目的就在於量化高速電路所產生的少數雜散載子對影像感測器的影響，並找出不同操作頻率下，高速電路與像素陣列的安全距離。

本研究為了解少數載子擴散的情況，以TSMC 0.13  $\mu\text{m}$  的金氧半導體影像感測器製程實現一顆測試的影像感測晶片。晶片中央為640  $\times$  480 的像素陣列，與一連串的行讀取電路。每個像素尺寸為3.3  $\times$  3.3  $\mu\text{m}^2$ 。為了簡化雜訊分析的難度，晶片只放置簡單的行解碼器、偏壓電路與讀取電路。控制訊號則是透過晶片外部的複雜程式邏輯元件所產生。晶片的架構如下圖2所示，詳細的規格列在表1。雜訊源的部份採用了一個長寬分別為4  $\mu\text{m}$  和10  $\mu\text{m}$  的電晶體，並放置在像素陣列右側距離10  $\mu\text{m}$  外，垂直位置在陣列高度的3/4處。

表1、晶片詳細規格

製程技術	TSMC 0.13 1P3M CIS
填充因子	20%
像素個數	640*480
像素尺寸	3.3×3.3 $\mu\text{m}^2$
晶片面積	3880×3350 $\mu\text{m}^2$
讀取速度	30 frames/sec
暗電流	0.0891 nA/cm <sup>2</sup>
敏感度	0.747 V/lux-s
動態範圍	66.84 db
固定樣式雜訊	1.11 mV (0.23% of sat. level)
隨機雜訊	0.21 mV
光電轉換效率	27.09 $\mu\text{V}/\text{e}^-$

下圖3為晶片實際拍攝的情形，3(a)圖為正常操作下的影像，而3(b)圖為雜訊源以10 MHz干擾的結果。3(b)圖右上方標示出雜訊影響的區域，為一個三角的亮區，即為受影響的像素。受影響的區域會隨著頻率的增加而加大，會造成影像上部分非預期的飽和。在圖片的四周部分也有飽和區，但是是由匹配用的像素所造成的，而非少數載子所造成的，且此現象可利用二次取樣技術來抑制。為精確地得到雜訊的影響程度，此研究中利用二次取樣技術加以抑制圖片四周的飽和現象。



圖3、(a)正常模式下取得之影像；(b)雜訊源以10 MHz 操作下所取得的影像

為了單純的取得雜訊影響的程度，本實驗利用光學暗箱進行影像拍攝。影像先經過二次取樣降低雜訊後，再進行二值化處理，表現在圖4(a)。為了方便比較，最大的影響深度與影響區半高度的寬度被分別定義為DER與WER參數，如圖4(b)所表示。

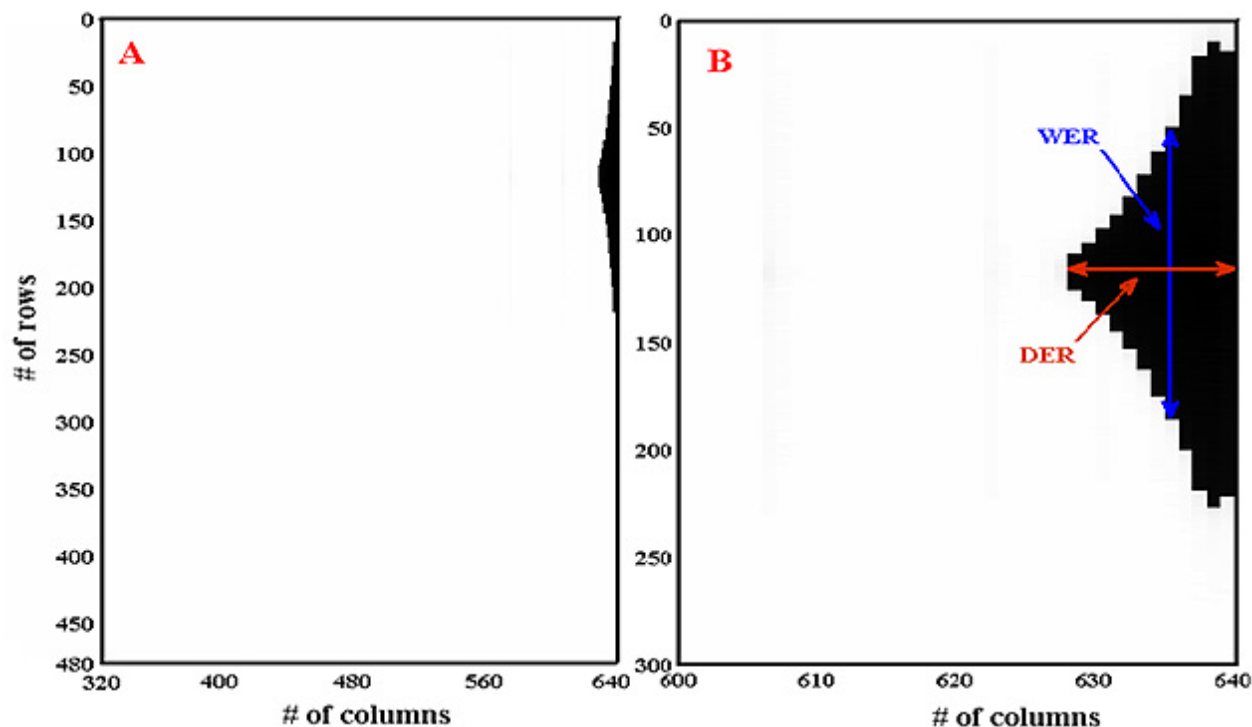


圖4、(a)二值化的影像；(b)影響區域的局部放大與參數DER與WER之標示

透過改變電晶體切換的頻率，可得到相對應的影響評估參數。兩個參數與頻率的關係被繪製在圖5，其中座標軸上的參數值都是以像素個數為單位。雖然兩參數都會隨著頻率的上升而上升，但是DER上升的斜率相較於WER的斜率小。

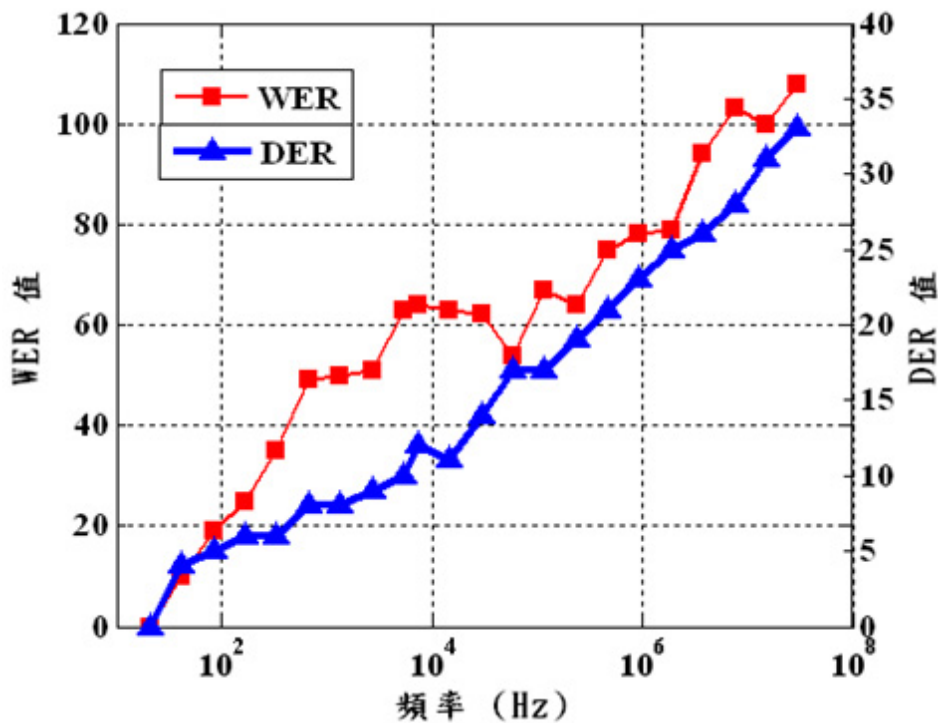


圖5、DER、WER參數與操作頻率的相對作圖

透過這樣的實驗，可以清楚地看見少數雜散載子對影像的影響，也可以進一步的評估影響程度。由圖5的參數值顯示，當雜訊源影響影像時，在垂直方向上的影響比水平方向來的小。可能的原因來自於載子擴散

被感光區吸收後，阻止載子再向內部深入。因為低濃度的基底，造成大部分的載子只會被像素陣列吸收。當最外側的像素飽和後，才有部分的載子可以穿越感光區。因此載子會在外側的像素被吸收，造成影像影響的寬度快速加大，而深度呈現慢速的成長。為了要避免這樣的現象發生，除了把高速電路遠離像素陣列的方法以外，本研究建議設計者可以在像素陣列外圍，加上與  $(DER \times 3.3) \mu\text{m}$  寬的N型防護環。透過適當的防護環使用，可以增加影像取得的品質。

本研究主要是針對少數雜散載子對於影響影像感測的分析。由上面的圖3(b)也確實發現了少數雜散載子的擴散，的確會對影像造成嚴重干擾。經由圖5的結果顯示，頻率的上升會造成影響區域的擴大。對於影像感測器設計者而言，如果沒有採取適當的防護，將會嚴重影響到影像的品質，所以這是一個不容忽略的問題。透過本研究的量測結果，可給電路設計者建議一個最起碼的防護環寬度。

#### 參考文獻

- 1.L. J. Kozlowski, et al., "Pixel noise suppression via SoC management of tapered reset in a 1920/spl times/1080 CMOS image sensor," IEEE Journal of Solid-State Circuits, Vol. 40, Issue 12, pp. 2766-2776, Dec. 2005
- 2.E. R. Fossum, "CMOS Image Sensors: Electronic Camera On A Chip," in Proceedings of International Electron Devices Meeting, pp. 17-25, 1995.
- 3.H.-Y. Cheng, and Y.-C. King, "A CMOS image sensor with dark-current cancellation and dynamic sensitivity operations", IEEE Transactions on Electron Devices, pp.91-95, 2003.

*Copyright 2009 National Cheng Kung University*