

## 電晶體式氫氣感測器之暫態響應

蔡衍穎<sup>1</sup>、林坤緯<sup>2</sup>、陳慧英<sup>3</sup>、劉一平<sup>3</sup>、洪慶文<sup>1</sup>、陳梓斌<sup>1</sup>、蔡宗翰<sup>1</sup>、陳利洋<sup>1</sup>、朱桂逸<sup>1</sup>、劉文超<sup>1,\*</sup>

<sup>1</sup>國立成功大學電機資訊學院微電子工程研究所 <sup>2</sup>朝陽科技大學電腦科學及資訊工程學系暨研究所 <sup>3</sup>國立成功大學化學工程系

wcliu@mail.ncku.edu.tw

Sensors and Actuators B 2008, 134, 750-754.

本文中探討鈹-氧化物-磷化銦鎵(金屬-氧化物-半導體)場效電晶體型氫氣感測器之暫態感測行為。於氮載氣環境下，量測訊號與氫氣濃度之對數值在30~160 溫度區間，呈現線性關係。於氫氣偵測過程中，由於氫氣在初始脫附階段時，需要克服高位障之活化能，因此感測訊號往往無法回到原始之基準值。在高溫操作下，氫氣之脫附行為可以分為三個階段：1. 初始階段 2. 累積階段 3. 完全回復階段。氫原子結合為氫分子的過程相當緩慢，使得鈹金屬的表面堆積大量待脫附之氫原子，因此可觀察到較為冗長之脫附時間。然而在具有氧氣的環境之下，則觀察到脫附時間縮短和氫氣吸附率增加。此外，即使是在高溫的環境下操作，元件因溫度上升所產生的汲極基準電流偏移量，並不因在氮氣或氧氣的氛圍之下而有所差異。



隨著科技發展之進步，氫氣已廣泛地應用在化學工業、半導體製程、醫療及汽車燃料電池。而在應用面上，氫氣有爆炸之虞。因此，利用高靈敏度感測器監控環境中之氫氣已成為重要的議題。製備有不同觸媒金屬之金半導體元件，諸如：蕭基二極體、電容、場效電晶體。。。等，應用在氫氣感測器方面已有很長的一段時間。由於半導體式感測器時，具有微小化以及降低製造成本之優勢，無疑的，半導體式感測器在以微電子為基礎之智慧型氣體感測系統的發展上極為重要。一般來說，氫氣可有效率的分解於具有高觸媒裂解係數的鈹金屬上。本文中，我們研製出鈹-氧化物-磷化銦鎵(MOS)型場效電晶體式氫氣感測器。並探討環境中載氣效應以及表面之化學反應對於元件暫態響應電流之影響。

本研究之場效電晶體式氫氣感測器磊晶層部分，是藉由低氣壓-金屬有機化學氣相沈積(LP-MOCVD)系統將其沈積於半絕緣之砷化鎵基板上。本元件磊晶結構包含了：砷化鎵緩衝層、砷化銦鎵通道層、砷化鎵隔離層、高濃度平面摻雜層、n型磷化銦鎵蕭特基接觸層以及n<sup>+</sup>型砷化鎵帽層。源極與汲極之歐姆接觸則是由蒸鍍的方式將金/鎢/鎳合金鍍在砷化鎵帽層上，之後隨即將試片放入具有氧氣流通之高溫箱以成長高品質之氧化層。最終將鈹觸媒金屬蒸鍍於磷化銦鎵蕭特基接觸層以形成閘極。在氫氣吸附脫附實驗中，我們將待測元件置於不鏽鋼之反應腔體搭配氣流導通管與調壓閥。

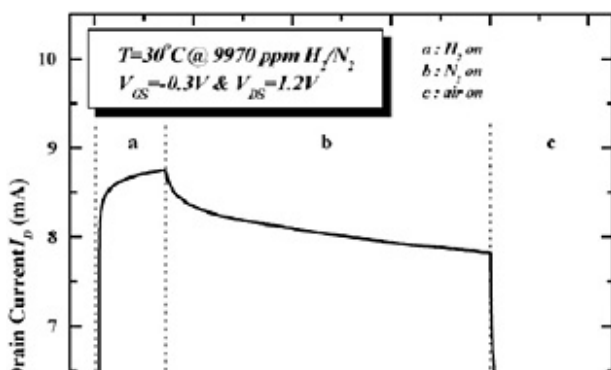


圖 1 描述當元件在通入以及移除氫氣濃度為9970 ppm H<sub>2</sub>/N<sub>2</sub>之室溫暫態響應。當高純度之氮氣通入腔體時，元件所測得之基值電流為4.74 mA。而氫氣通入測試腔體後，元件之偵測電流訊號則急遽的增加。隨著通入氣體的時間增加，a區間的電流呈現近似飽和之現象，此意味著氫氣化學反應已達到吸附與脫附間的動態平衡。而在此平衡狀態下所獲得之最大電流變化量為4.0mA。氫氣被移除時，區間b則顯示元件極為冗長的

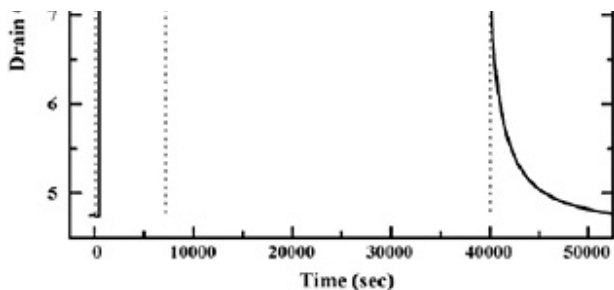


圖 1. 元件於濃度為9970ppm  $H_2/N_2$  氣體通入與移除的狀況下之室溫暫態響應，元件之操作偏壓為  $V_{GS} = -0.3V$  及  $V_{DS} = -1.2V$ 。  
偵檢極限。

暫態回復時間。

圖2描述在不同濃度下 (5 ~ 9970ppm  $H_2/N_2$ ) 元件之室溫動態電流變化。我們可以發現此元件即便是在最低濃度 (5ppm  $H_2/N_2$ ) 狀況下，仍可以得到高達2.80 mA 之電流值，然而卻也可觀察到超過5小時之元件回復時間。當氫氣濃度增加時，相對應之元件響應時間也會隨之減少。與空氣載氣下的氫氣比較 ( $H_2/Air_2$ )，經由氧氣所產生之氫氧根離子以及水分子會使得元件難以測得低濃度之氫氣，因此，過量的氧氣將會降低元件的

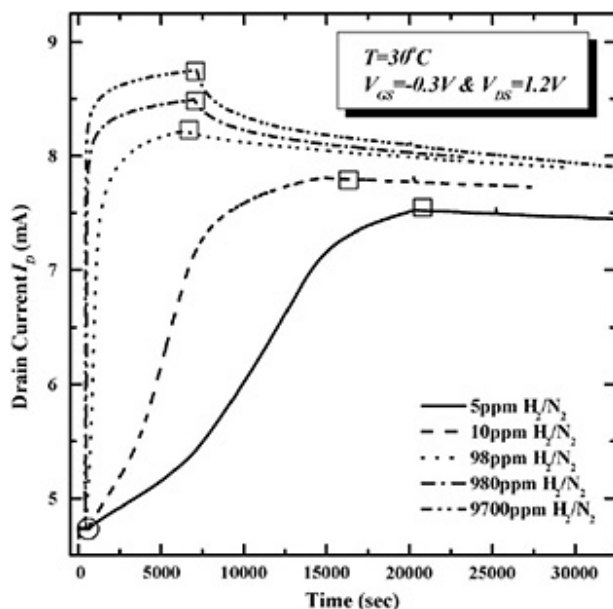


圖 2. 元件在不同濃度下之室溫動態電流變化 (5 ~ 9970ppm  $H_2/N_2$ )。

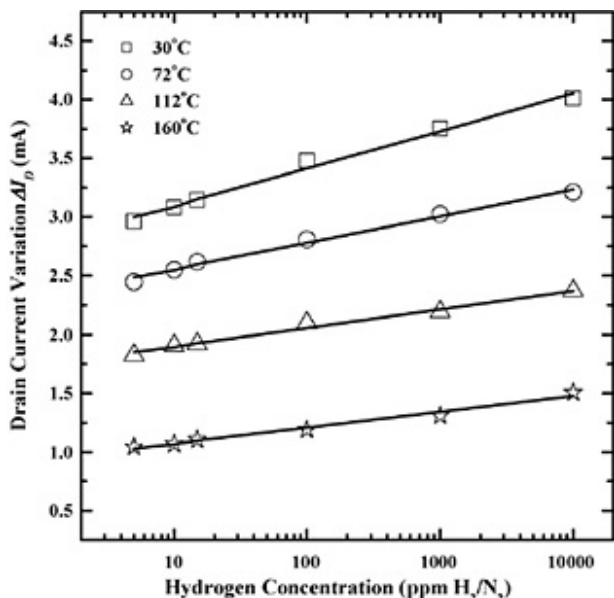


圖3元件之汲極電流與氮載氣之氫氣濃度在溫度區間 30 ~ 160 的相依關係。

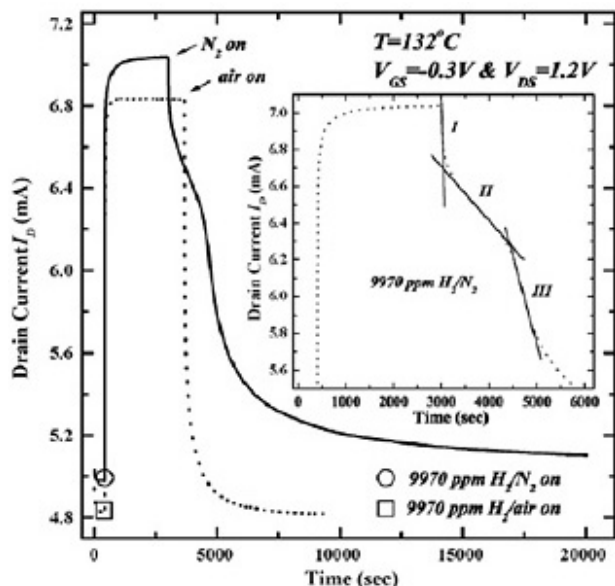


圖4 在不同載氣下(i) 9970ppm  $H_2/N_2$ (ii) 9970ppm  $H_2/Air$ ，元件在溫度 132 之下的暫態響應。插圖為在氫

氣濃度9970ppm H<sub>2</sub>/N<sub>2</sub>下，元件暫態響應之放大圖。

圖3顯示元件之汲極電流與氮載氣之氫氣濃度在溫度區間30 ~ 160 的相依關係。很顯然地，在氮氣的氛圍下，元件的偵測訊號與氫氣濃度之對數呈現線性之關係。此外，此元件在室溫操作下可獲得極大之靈敏度比（ $S = 0.137\text{mA/ppm H}_2/\text{N}_2$ ），又當元件操作溫度增加至160 時，由於氫氣吸附過程為放熱反應，使其靈敏度比反而減少至 $0.058\text{mA/ppm H}_2/\text{N}_2$ 。

圖4顯示在相同氫氣濃度（9970ppm）但不同之載氣下（i）空氣（ii）氮氣，元件於操作溫度132 之氫氣電流響應。元件之感測訊號在氮氣的氛圍之下可回復到5.10 mA。氫氣原子在高溫操作區間下可以獲得足夠之能量以促進表面的吸附反應。從圖4之插圖可以觀察到，在氮氣氛圍之下之脫附行為可以分為三個階段，第I區域定義為『起始階段』，當關閉氫氣並導入氮氣流時，鈦金屬表面與鈦金屬-氧化物之介面之氫濃度則瞬間失去平衡，因此可以觀察到感測訊號的急遽下降。隨著通入氮氣的時間增長，元件的偵測訊號進入圖示的第II區-『累積階段』。由於氫原子之結合速率下滑導致氫氣原子累積在鈦金屬表面，因此在本區域有大量的氫原子脫附現象發生，進而導致元件的復原速率下降。圖示的第III區，定義為『完全回復階段』。鈦金屬表面之氫原子吸附量隨著時間增加而變多，因而使得氫氣原子的結合率增加，進而造成元件的回復速率上升。

*Copyright 2010 National Cheng Kung University*