

Study on the characteristics of indium gallium zinc oxide thin films and applications in photodetectors with different argon-oxygen ratios and annealing conditions

I-Chieh Kao^{1,*}, Hsiao-Hui Chen^{2,*}, Shih-Chang Shei^{3,*}

^{1,2,3}Department of Computer Science & Information Engineering, National University of Tainan, Tainan, 70005, Taiwan

^{1*}E-mail : eden1233230@gmail.com

^{2*}Email : hyea012152@gmail.com

^{3*}Email : scshei@mail.nutn.edu.tw

Abstract

This study is to fabricate indium gallium zinc oxide thin film transistors on glass substrates. The experiment is divided into three parts. The first part of the experiment is the deposition of indium gallium zinc oxide, and discusses the use of UV-Vis spectrometer, X-ray diffractometer, surface profiler, Hall effect measurement, high-resolution scanning electron microscope detection, ellipsometer under different argon-oxygen ratios. And analyze the material properties to find the best sputtering conditions. In two parts, IGZO TFTs with different thicknesses of SiO₂/HfO₂ double-layer insulating layers were fabricated. In the third part, the fabrication of IGZO photodetector (PD) is analyzed and discussed by measuring the electrical properties.

Keywords: indium gallium zinc oxide, thin film transistors, insulating layers, photodetector

探討不同氬氧比和退火條件對於氧化銦鎵鋅薄膜及其在光感測器上應用之特性分析

高翊傑, 陳曉慧, 許世昌

國立臺南大學電機工程學系

摘要

本次研究為在玻璃基板上製作氧化銦鎵鋅薄膜電晶體，實驗分成三部分。第一部分實驗為沉積氧化銦鎵鋅，探討不同氬氧比下，使用紫外光-可見光光譜儀、X 光繞射儀、表面輪廓儀、霍爾效應測量、高解析掃描式電子顯微鏡檢測、橢圓偏光儀及分析材料特性，來找出最佳濺鍍條件。第二部分製作不同厚度 SiO₂/HfO₂ 雙層絕緣層之 IGZO TFTs，厚度分別為 160/40(nm) 170/30(nm)、180/20(nm)及 190/10(nm)。第三部分製作 IGZO 光感測器(Photodetector, PD)藉由測量電性進行分析及探討。

關鍵詞：氧化銦鎵鋅、氧化銦鎵鋅、絕緣層、光感測器

1. 緒論

隨著光電科技與製程技術的進步，從早期的映像管顯示器(Cathode Ray Tube, CRT)發展到後來的液晶顯示器(Liquid Crystal Display, LCD)，電漿顯示器(Plasma Display Panel, PDP)，到最後的平板、智慧型手機、可撓式面板的有機發光二極體(Organic Light Emitting Diode, OLED)螢幕，顯示器技術蓬勃發展，如圖 1-1 所示。技術上的進步，也帶動薄膜電晶體(Thin Film Transistors, TFTs)的發展。隨著產業需求增加，人們對於顯示器的需求也越來越高，輕薄短小成為研究趨勢。為了兼顧低成本，改善薄膜電晶體的特性就成為不錯的選擇。而薄膜電晶體又分為氮化非晶矽薄膜電晶體、多晶矽薄膜電晶體、有機薄膜電晶體、金屬氧化物薄膜電晶體。



圖 1-1 薄膜電晶體應用

光感測器(Photodetector)主要的功能用來偵測光子(Photon)，將光子轉換成電子(Electron)，也就是將光訊號轉換成電信號。由光產生載子，經由電路增益機制使載子傳輸及累積，產生的電流與外部電路相互作用，輸出電信號。簡易的光感測器為光電導(Photoconductor)，如圖 1-2 所示。以一個簡易的半導體平板，兩端以歐姆接觸(Ohmic Contact)當作電極，當半導體材料受光照時，由於對光子的吸收引起載流子濃度的上升，導致材料電導率的上升，卻也讓響應速度下降，因此才有光二極體的產生。

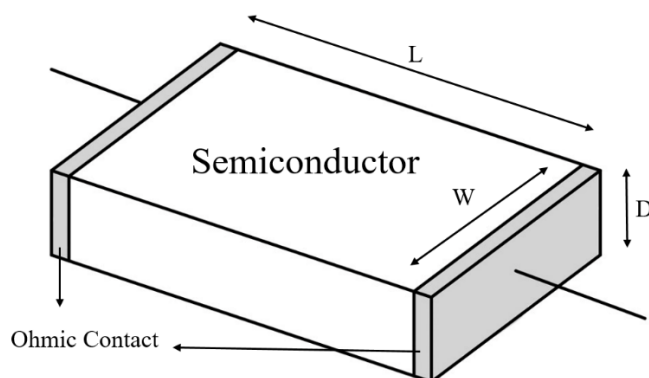


圖 1-2 光電導

由前面所提及的薄膜電晶體種類可以得知，作為面板及光電產業的核心，不只需要較好的特性，時間和成本也是需要考量到的因素。選擇金屬氧化物半導體作為通道層，兼具非晶矽的高均勻性和多晶矽的高載子遷移率，低成本的同时也能有高收益。如此眾多的金屬氧化物半導體中，為何選擇非晶態氧化銦鎵鋅(Amorphous InGaZnO, a-IGZO)來作為通道層呢?這是因為作為基底的氧化鋅(ZnO)是一種寬能隙(Wide Band Gap)的材料，在可見光的波長範圍內有高透明度，可增加畫素的開口率。而摻入銦離子(In^{2+})是因為鋅的外層電子軌域為4s軌域，銦則是5s軌域，可有效增加在非晶態時的電子雲重疊機率，進而提升載子濃度和電子遷移率，如圖1-3所示。在提升載子濃度之後，為了控制載子濃度不要過多使得元件呈現自然導通的情況，在摻入鎵離子(Ga^{2+})，鎵對氧的鍵結能力較好，可有效抑制氧空穴的產生，避免載子濃度過高。除了上述控制載子濃度的原因外，因為氧化鋅結晶溫度低，是比較能夠呈現晶相的材料，摻入銦之後使得整體的結晶溫度又更低更容易呈現結晶相，此時摻入鎵會提高結晶溫度，使整體較容易呈現為非晶相的形式。

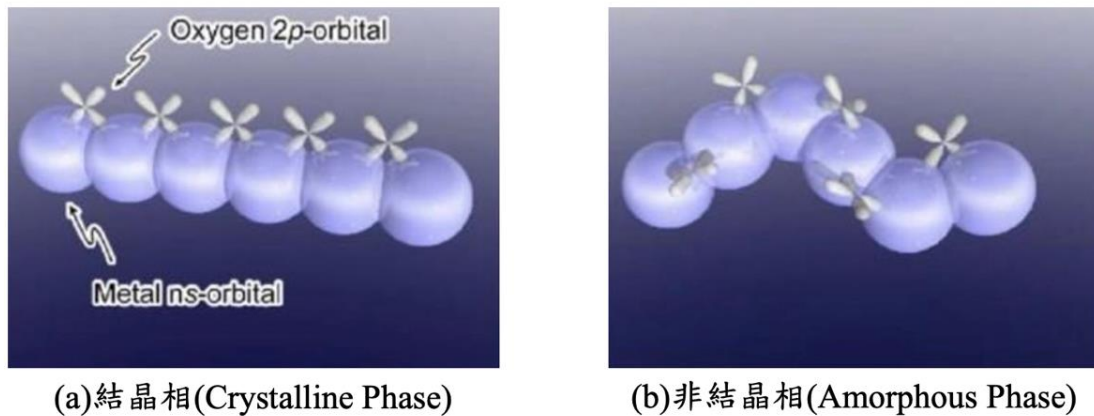


圖 1-3 金屬氧化物結晶相與非結晶相電子排列示意圖[1]

最後製作光感測器(Photodetector)作為應用，氧化銦鎵鋅在可見光區域中幾乎為透明，照射紫光，測量出電流電壓特性，算出其光響應度，了解其光電特性。金屬半導體(Metal Semiconductor, MS)接面相對於PN接面有較好的反向飽和電流(Reverse Saturation Current)、崩潰電壓(Breakdown Voltage)及切換特性(Switching Characteristic)，加上使用金屬半導體接面製作光感測器較為容易。在紫光波長(380nm)的照射下，觀察其光響應度，評估是否能作為紫光感測器元件的可行性。

本論文架構共分三節，本節為緒論，說明研究動機與研究方向；第二節將介紹本次實驗的佳構及流程；第三節為結果與討論；最後第四節為結論。

2. 研究方法

2.1 實驗介紹

實驗分成三個部分:第一部分為氧化銻鎵鋅薄膜分析；第二部分為氧化銻鎵鋅薄膜電晶體的製程及電性量測；第三部分為氧化銻鎵鋅金屬-半導體-金屬 (Metal Semiconductor Metal, MSM) 電性分析及光感測器 (Photodetector, PD) 在不同紫外光波長照射下的探討，如圖 2-1 所示。

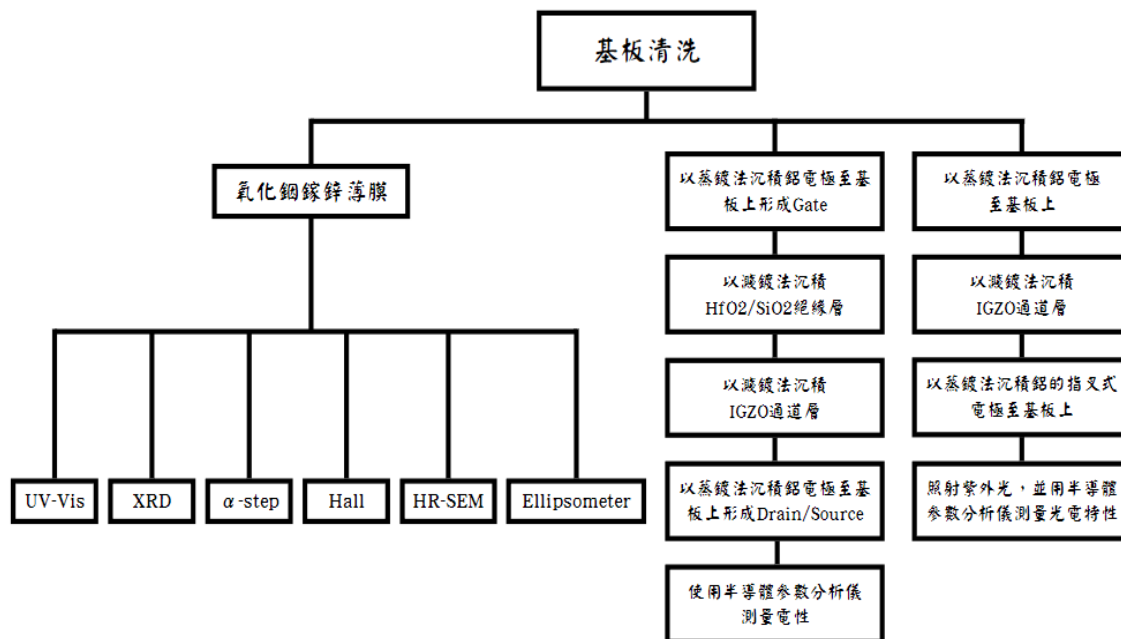


圖 2-1 實驗流程圖

2.2 實驗步驟

製作薄膜電晶體及光感測器前，準備 $2 \times 2 (\text{cm}^2)$ 的玻璃基板，依序使用丙酮 (Acetone)、甲醇 (Methanol)、及去離子水 (Deionized Water) 分別清洗五分鐘，再由氮氣槍吹乾即可。薄膜電晶體及光感測器遮罩如圖 2-2 及圖 2-3 所示。首先，透過射頻磁控系統沉積不同氫氧比之 IGZO 薄膜作為通道層，再來使用紫外光-可見光光譜儀測量 IGZO 薄膜的穿透率；X-射線繞射儀觀察 IGZO 晶體結構及晶格常數；表面輪廓儀測量薄膜厚度；霍爾效應測量儀分析載子濃度及體電阻值；高解析掃描式電子顯微鏡觀察其微觀結構；橢圓偏光儀測量 IGZO 薄膜。

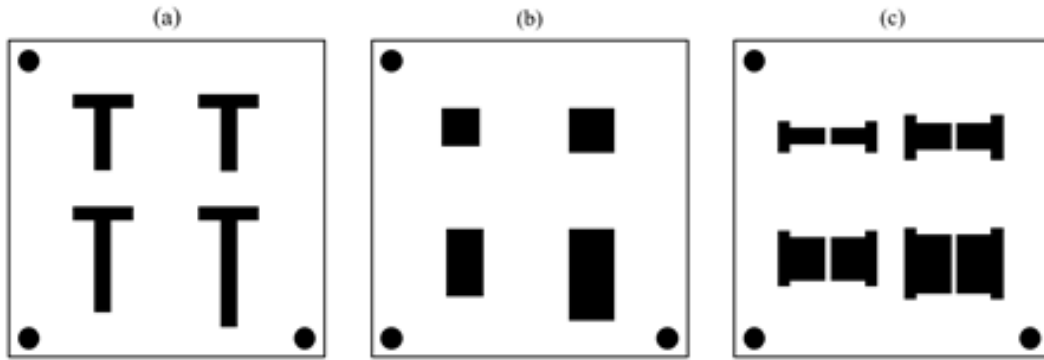


圖 2-2 薄膜電晶體遮罩閘極(Gate、a)、通道層(b)源極和汲極(Source, Drain、c)

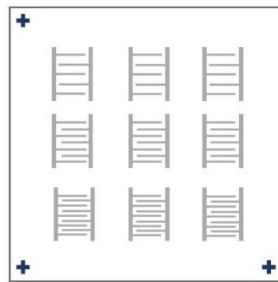


圖 2-3 指叉式電極遮罩

再來製作不同厚度 SiO₂/HfO₂ 雙層絕緣層之 IGZO TFTs 及不同氫氧比之 IGZO PD，前著厚度分別為 160/40(nm) 170/30(nm)、180/20(nm)及 190/10(nm)；後者為 45:5、46:4、47:3、48:2 及 49:1。最後鍍上金屬電極並利用半導體參數分析儀來觀察其電特性。

3. 結果與討論

3.1 氧化銦鎵鋅薄膜分析

3.1.1 UV-vis 分析

由圖 3-1 可知氧化銦鎵鋅薄膜除了短波長以外，在可見光與紅外光波段的穿透率幾乎都高於 80%以上，因為氧化銦鎵鋅的結構是由氧化鋅參雜銦和鎵三價元素成為 N 型半導體，銦、鎵元素取代部份的鋅，一般認為參雜銦可以增加載子遷移率，而參雜鎵降低載子遷移率。至於銦的氧鍵鍵能較低，容易造成氧空缺，鎵的氧鍵鍵能相對於鋅和銦較強，所以能抑制氧空缺的出現。

由 Tauc-plot 法可由圖 3-1 之穿透率可得氧化銦鎵鋅的能隙約為 3.26eV，將能隙 3.26eV 轉換成波長約為 380nm，表示當照明波長小於 375nm 時，氧化銦鎵鋅薄膜中的氧空缺會被光能激發形成氧離子空位，也就是光照會增加電流和遷移率，電晶體的導通

電流與截止電壓皆有上升的趨勢，表示氧化銦鎵鋅具有感光特性，而 IGZO 對於紫外光的靈敏反應可以當作光感測器[2]。

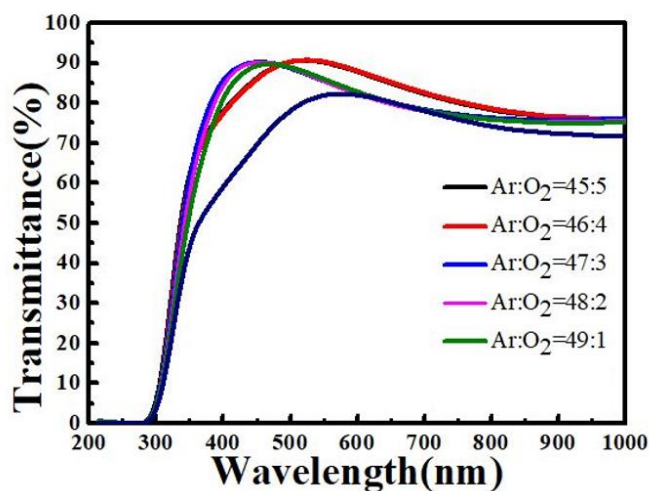


圖 3-1 不同濺鍍條件下氧化銦鎵鋅之穿透率

3.1.2 XRD 分析

圖 3-2 為氧化銦鎵鋅在不同氬氧比下的 XRD 圖，分析氬氧比為 49:1、48:2、47:3、46:4、45:5(即 $O_2/Ar+O_2=2\%$ 、4%、6%、8%、10%)的 XRD 圖譜，並未發現明顯的峰值(peak)， $2\theta=25$ 至 35 度附近的寬峰對應於玻璃基板，結果表明了氧化銦鎵鋅薄膜為非晶態結構[3、4、5]。非晶態結構的薄膜具有大面積的均勻性、光滑的表面、低電子缺陷及低界面態密度等優點，對於元件的生產是極為重要的

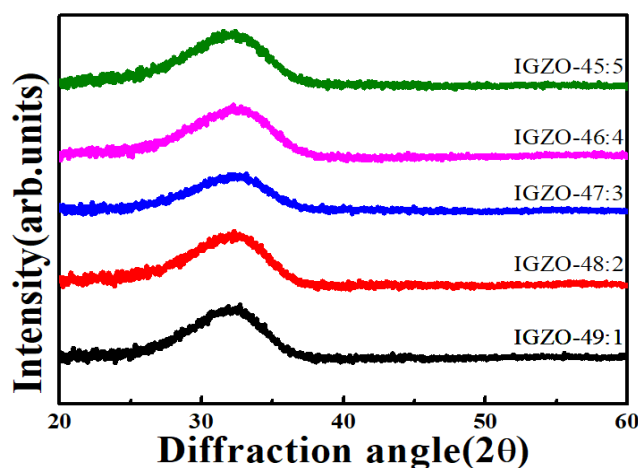


圖 3-2 氧化銦鎵鋅在不同氬氧比下的 XRD 分析圖

3.1.3 α -step 分析

透過表面輪廓儀測量以及換算過後的鍍率如表 3-1 所示。隨著氧氣的增加，鍍率隨

之遞減，因磁控濺射是利用氬氣去轟擊靶材表面使其解離，進而讓原子沉積在基板表面，但在氧氣流量增加，且氣體總量不變的情況下，增加了粒子碰撞散射的機率，進而降低氬氣轟擊靶材表面的機率，導致薄膜沉積厚度變薄，濺鍍鍍率也隨之下降[6、7]。

表 3-1 不同氬氧比下薄膜厚度及鍍率的表面輪廓儀測量值

Ar:O ₂	49:1	48:2	47:3	46:4	45:5
厚度(nm)	137.22	132.02	112.76	112.48	110.56
鍍率(nm/min)	3.43	3.3	2.82	2.81	2.76

3.1.4 霍爾效應分析

表 3-2 顯示霍爾效應測量氧化銦鎵鋅薄膜在不同氬氧比下的體電阻值(Bulk Resistivity)及載子濃度(Carrier Concentration)。當氧氣流量從 2%增加到 10%，體電阻值從 1.37(Ω/cm)增加到 3654(Ω/cm)，發現氧氣流量增加會導致體電阻值上升進而造成導電率下降。因為氧化銦鎵鋅薄膜中的氧空位提供薄膜載體，因此氧氣流量的增加會讓薄膜中的氧空位被填補，造成載子濃度下降[8、9]。

表 3-2 不同氣體流量體電阻值和載子濃度的霍爾效應測量值

Ar:O ₂	Bulk Resistivity (Ω/cm)	Carrier Concentration (cm^{-3})
49:1	1.37	9.61×10^{19}
48:2	9.39	2.97×10^{16}
47:3	268	2.32×10^{14}
46:4	641	4.01×10^{13}
45:5	3654	2.42×10^{12}

3.1.5 HR-SEM 分析

圖 3-3(a)-(e)為 IGZO 薄膜的 SEM 圖，拍攝倍率 100K。可以看出當氬氣氧氣流量比為 45:5 時，有明顯的晶粒，代表其離子轟擊力較其他流量強，鍍膜速度更快。當氬氣氧氣流量比 49:1~46:4，所鍍上的 IGZO 薄膜並沒有明顯的晶粒變化。

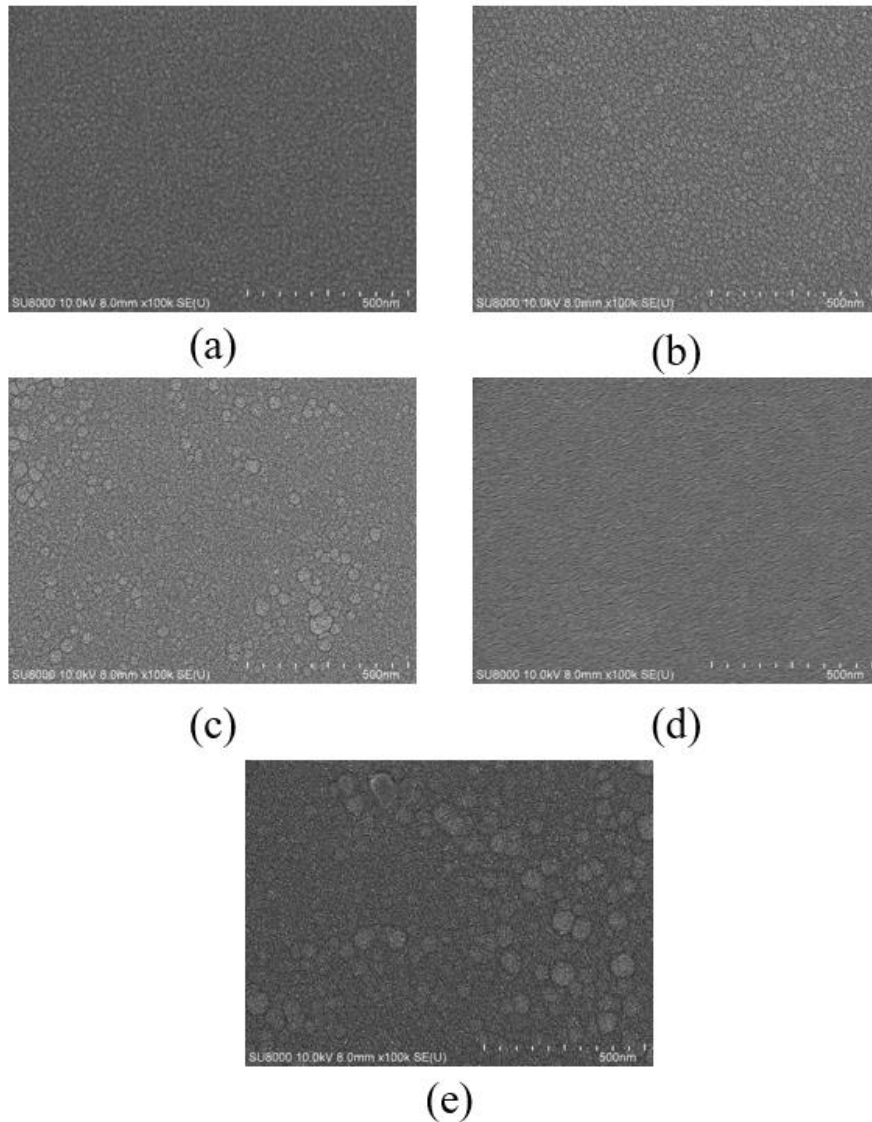


圖 3-3 氬氣氧氣流量比(a)49:1(b)48:2(c)47:3(d)46:4(e)45:5 IGZO 薄膜 SEM 圖

3.1.6 Ellipsometer 分析

由橢圓測厚儀測量出原始數據(Ψ 、 Δ)，再利用 Cauchy Film Model 計算出理想值進行比對和重新計算以求出薄膜適用光波段，圖 3-4 及圖 3-5 分別為氬氧比 45:5 氧化銦鎵鋅薄膜全波段及部分波段之分析圖，其中黑色虛線為 Model 計算出的理想值。可由圖 3-5 可知測量光源為 600nm 以上時，測量值和理想值較為貼合，也就是氧化銦鎵鋅薄膜在此波段較為適用 Cauchy Film Model。

將 Ψ 、 Δ 帶入式 3.1、式 3.2 可得出氧化銦鎵鋅薄膜之 n (折射率)、 k (消光係數)數值，由圖 3-6 可看出無論測量光波長如何變化 k 恆等於 0，進一步確定氧化銦鎵鋅在此波段無吸光特性，符合透明膜特性。

利用 Cauchy Film Model 可推算出薄膜表面粗糙度以及薄膜厚度，並以此得到不同

氬氧比下氧化鋁鎵鋅薄膜鍍率，如表所示，由式 3.3 可計算出 MSE 值，判斷數據的可信賴性，MSE 值越小，數據可信賴性越高。

$$MSE = \sqrt{\frac{1}{2N-M} \sum_{i=1}^N \left[\left(\frac{\Psi_i^{mod} - \Psi_i^{exp}}{\sigma_{\Psi,i}^{mod}} \right)^2 + \left(\frac{\Delta_i^{mod} - \Delta_i^{exp}}{\sigma_{\Delta,i}^{mod}} \right)^2 \right]} = \sqrt{\frac{1}{2N-M} \chi^2} \quad (0.1)$$

$$n(\lambda) = A + B/\lambda^2 + C/\lambda^4 \quad (0.2)$$

$$k(\lambda) = 0 \quad (0.3)$$

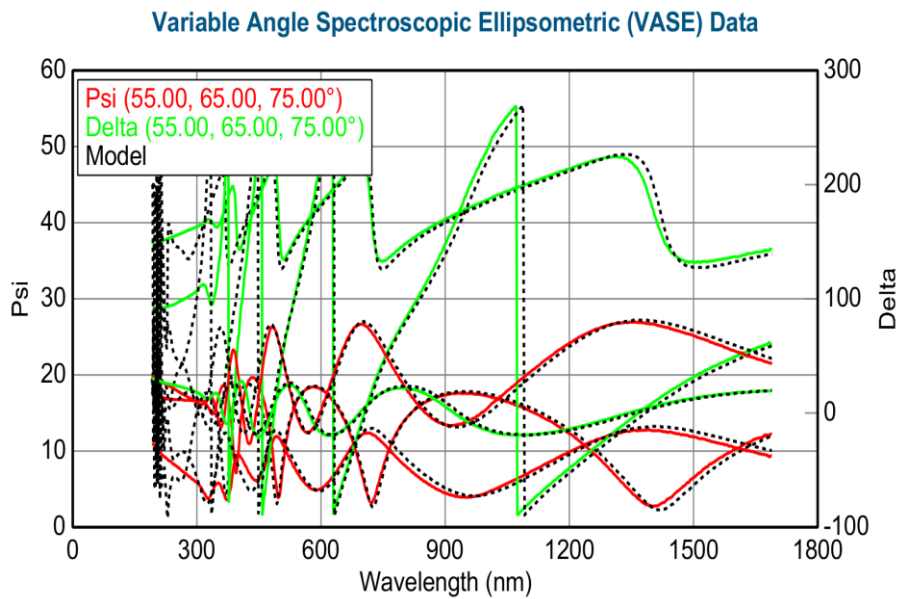


圖 3-4 氧化鋁鎵鋅薄膜全波段(290nm~1700nm)分析圖

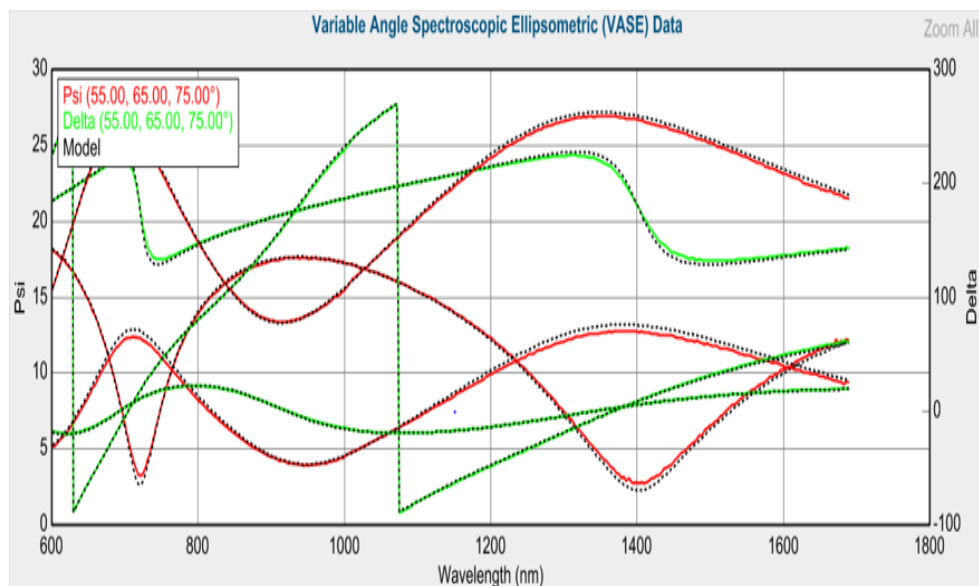


圖 3-5 氧化鋁鎵鋅薄膜部分波段(600nm~1700nm)分析圖

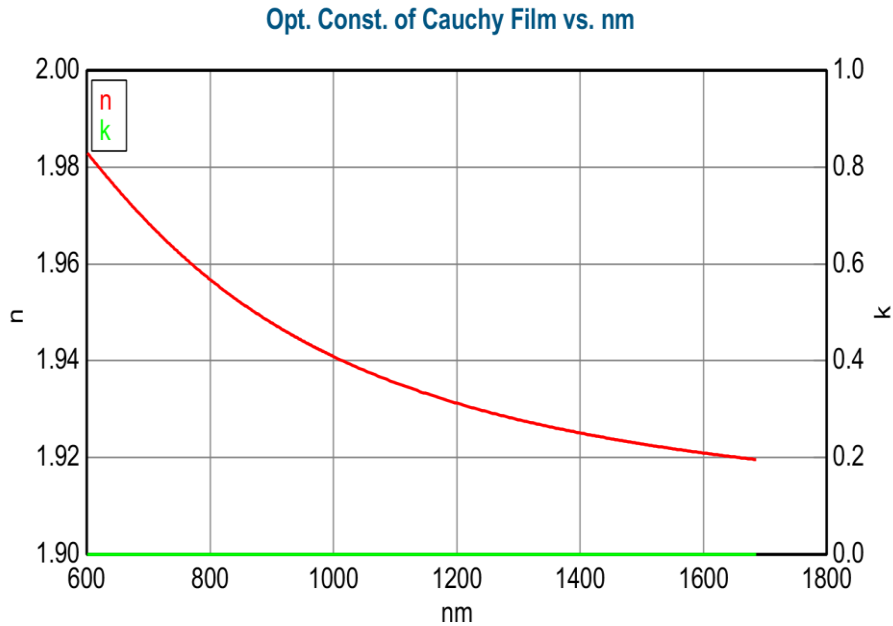


圖 3-6 氧化鋅鎵鋅薄膜之 n-k diagram

表 3-3 氧化鋅鎵鋅在不同氫氧比下之薄膜厚度、表面粗糙度、MSE 值

靶材	厚度 (nm)	功率 (W)	濺鍍 時間	濺鍍 壓力	氫氧比 (sccm)	鍍率 (nm/min)	粗糙度 (nm)	MSE
IGZO	113.81nm	90W	40min	5mtorr	49:1	2.85	1.89nm	7.32
IGZO	112.76nm	90W	40min	5mtorr	48:2	2.82	1.55nm	1.84
IGZO	112.48nm	90W	40min	5mtorr	47:3	2.81	4.46nm	3.34
IGZO	132.02nm	90W	40min	5mtorr	46:4	3.3	2.27nm	1.6
IGZO	183.5nm	90W	40min	5mtorr	45:5	4.59	6.01nm	29.44

3.2 氧化鋅鎵鋅薄膜電晶體分析

3.2.1 不同二氧化矽/二氧化鋁比影響氧化鋅鎵鋅薄膜電晶體特性

圖 3-7(a)~(d)分別顯示了不同二氧化矽/二氧化鋁比例的電晶體操作在閘極電壓 (VGS)施加 10V 時 IDS-VDS 曲線圖，其中 IDS 為汲極/源極電流；VDS 為汲極/源極電壓，隨著閘極電壓上升，源極電流逐漸達到飽和。由實驗結果可知，當二氧化矽/二氧化鋁比例為 190:10 時，輸出特性開始改變，其導體狀態接近於歐姆特性，表示太薄的二氧化鋁厚度無法有效抑制絕緣性、無法改善其電晶體特性[10、11、12]。

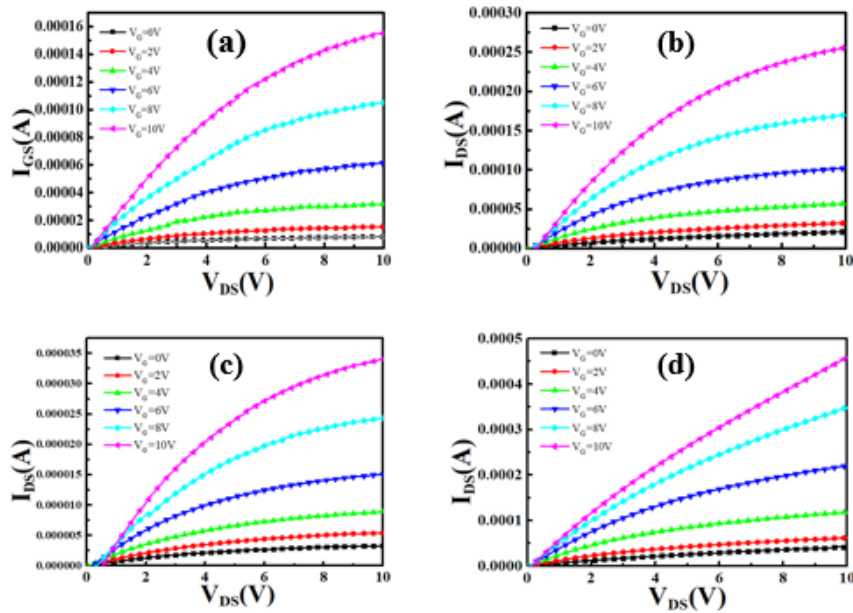


圖 3-7 不同二氧化矽二氧化鋁厚度之氧化銦鎵鋅薄膜電晶體

(a)160:40(b)170:30(c)180:20(d)190:10

3.2.2 氧化銦鎵鋅薄膜電容-電壓曲線

圖 3-8(a)~(d)為電容-電壓曲線測量圖，二氧化矽:二氧化鋁比例分別為 160:40、170:30、180:20 及 190:10。其計算出來的 COX 約為 0.19(mF/m²)、0.22(mF/m²)、0.26(mF/m²)及 0.31(mF/m²) [13]。

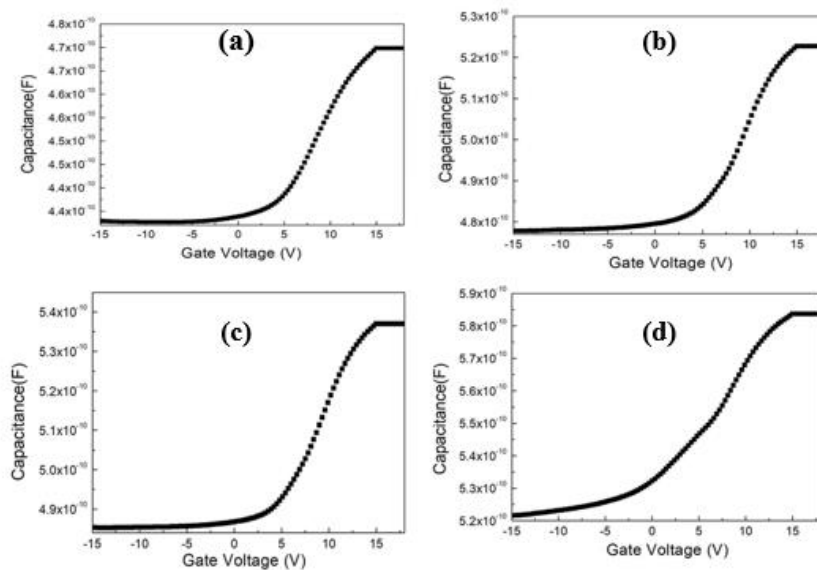


圖 3-8 不同二氧化矽二氧化鋁厚度之氧化銦鎵鋅薄膜電晶體之電容-電壓曲線測量圖

(a)160:40(b)170:30(c)180:20(d)190:10

3.2.3 氧化銦鎵鋅薄膜電容-電壓曲線

圖 3-9(a)~(d)為 IGZO TFTs 遲滯曲線圖。通過測量正負電壓掃描顯示了元件的遲滯特性。正電壓掃描時，電子在通道(Channel)與絕緣層(Insulating Layer)的界面處(Junction)累積，電子被絕緣層缺陷(Defect)所捕獲(Trap)，因此使用較大的負電壓掃描，使元件開路。圖 3-9(a)~(d)測量到具有的遲滯分別約為 0.48V、0.05V、0.85V 及 4.46V。當電荷被捕獲在閘極絕緣中和兩層之間的界面處時，會觀察遲滯特性。而界面處的電荷捕獲會影響亞閾值擺幅，而閘極絕緣層中的電荷捕獲不會影響亞閾值擺幅。

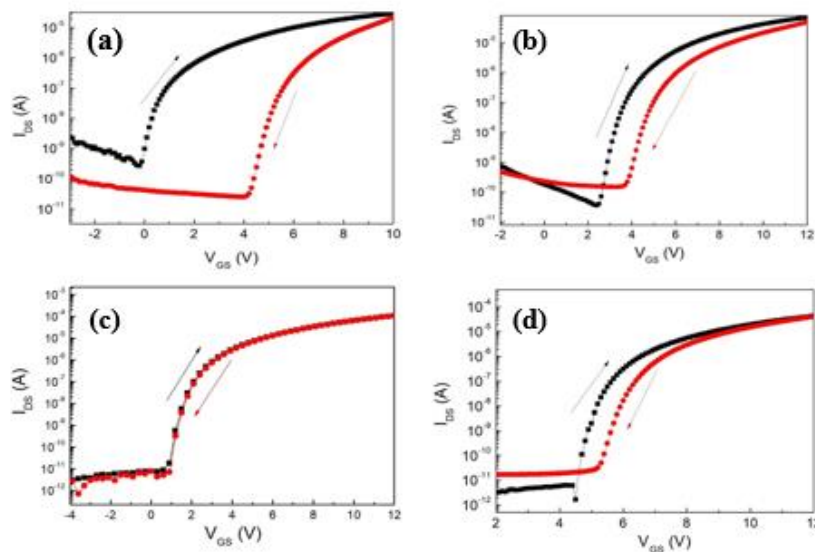


圖 3-9 不同二氧化矽二氧化鉛厚度之氧化銦鎵鋅薄膜電晶體之遲滯曲線圖

(a)160:40(b)170:30(c)180:20(d)190:10

3.2.4 正負偏壓穩定性

圖 3-10(a)~(d)為 IGZO TFTs 在正偏壓下的轉移曲線圖，施加 10 V 的閘極偏壓 1000 秒，每 0、1、5、10、50、100、500 和 1000 秒紀錄，代入式 4.1。

$$\Delta V_{TH} = V_0 \left\{ 1 - \exp\left[-\left(\frac{t}{\tau}\right)^\beta\right] \right\} \quad (0.1)$$

其中， ΔV_{TH} 為偏壓後閾值電壓的變化量、 $V_0 = V_G - V_{TH}$ 、 t 為應力時間、 β 為常數， τ 為電子被捕獲的總時間。可以得知，會隨著時間呈指數成長；電子被捕獲的總時間越久， ΔV_{TH} 越大。放置一段時間，電子會從鍵結中跑出來，回到原來的狀態。閾值電壓偏移是由於施加偏壓，導致通道和絕緣層之間的界面缺陷捕獲電子。其閾值電壓偏移分別約為 1.35V、1.54V、0.97V 及 4.57V。

圖 3-11(a)~(d)為 IGZO TFTs 在負偏壓下的轉移曲線圖，施加 -10 V 的閘極偏壓 1000 秒，每 0、1、5、10、50、100、500 和 1000 秒紀錄。施加的負偏壓導致整個能帶向上

上升，電洞被電場捕獲，能量勢壘通過隧道降低，絕緣層被捕獲。施加負偏壓，曲線向負方向偏移，因為閘極施加負偏壓後正電荷被捕獲在通道和絕緣層之間，導致通道中有大量電子，當元件運作時，需要負電壓使電子放電並且閾值電壓向負方向移動。其閾值電壓偏移分別約為-1.13V、-1.29V、-0.67V、及-2.13[14、15]。

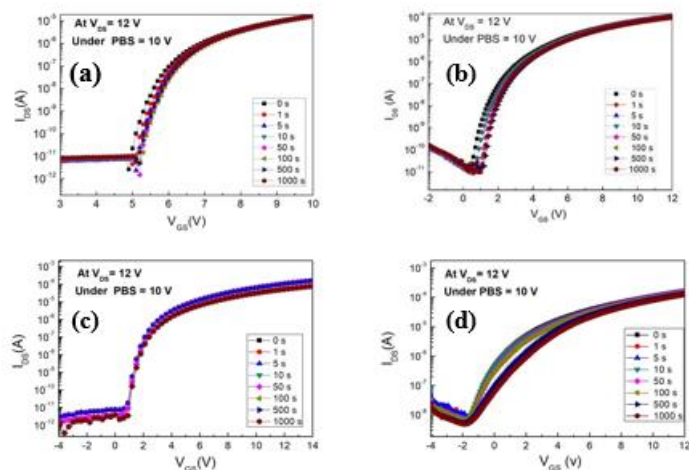


圖 3-10 不同二氧化矽二氧化鋁厚度之氧化鋅鎵鋅薄膜電晶體在正偏壓下的轉移曲線圖
(a)160:40(b)170:30(c)180:20(d)190:10

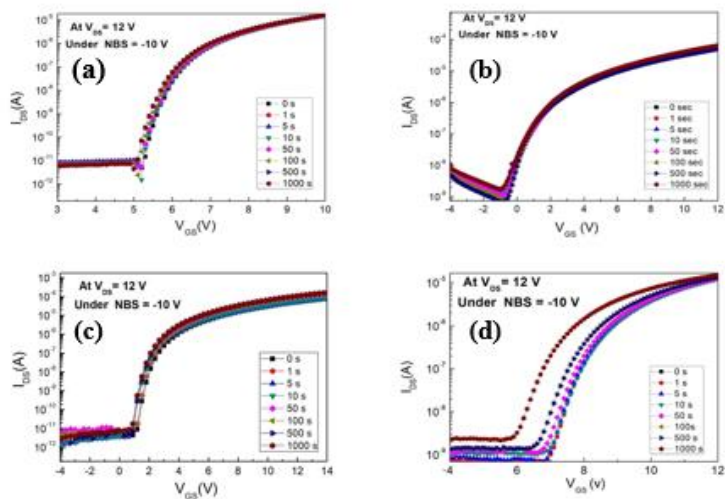


圖 3-11 不同二氧化矽二氧化鋁厚度之氧化鋅鎵鋅薄膜電晶體在正偏壓下的轉移曲線圖
(a)160:40(b)170:30(c)180:20(d)190:10

3.3 氧化鋅鎵鋅光感測器分析

3.3.1 光響應度測量

圖 3-12(a)~(b)為不同氫氧比下氧化鋅鎵鋅光感測器照射紫光前後之 I-V 特性圖。在 5V 到 10V 的偏置電壓下，分析不同氫氧比在紫光照射下產生的光電流(Photo Current)。

為了方便觀察，設定感應電流座標為對數座標，同時對施加偏壓所產生的電流取絕對值。

由先前的能隙分析結果可得知當照射光波長小於 380nm 時，會產生光電流。且光波長越短，產生的光電流越大。本次實驗中光電流最大的為氫氧比 49:1，光響應度為 2.7 mA/W。可以發現隨著濺鍍氧氣比增加，光電流越小。表 3-4 為不同氫氧比下的光響應度。根據文獻[16]，退火可以有效改善光電流及光響應度。在氮氣中退火時，腔室中的氣體壓力可以抑制氧從薄膜的表面解析。

圖 3-13(a)~(b)為退火後氧化銻鎵鋅光感測器的 I-V 特性圖，發現退火過的光電流及光響應度較為穩定，代表退火能讓元件性能提升，且氧空缺的問題也改善許多，因為腔室中的氮分子可以填補高溫下產生的氧空缺，讓濺鍍環境不會對元件性能造成過大的差異性。表 3-5 為退火後的不同氫氧比下的光響應度值。

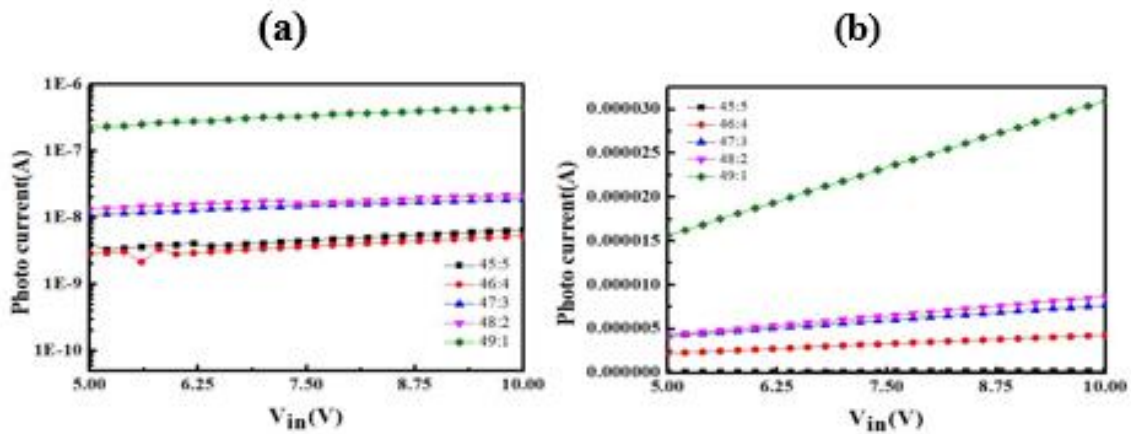


圖 3-12 不同氫氧比 MSM 在(a)未照光下(b)照光下的 I-V 特性圖

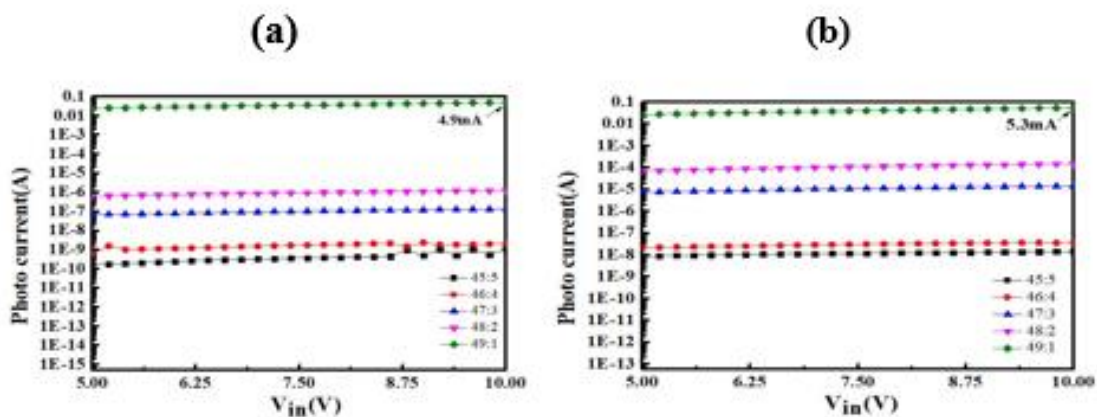


圖 3-13 不同氫氧比 MSM 退火後在(a)未照光下(b)照光下的 I-V 特性圖

表 3-4 不同氫氧比 MSM 照射紫光下的光響應度

氫氧比	光響應度
49:1	2.7mA/W
48:2	8.99×10^{-2} mA/W
47:3	8.96×10^{-3} mA/W
46:4	2.91×10^{-8} mA/W
45:5	1.53×10^{-9} mA/W

表 3-5 不同氫氧比 MSM 退火後照射紫光下的光響應度

氫氧比	光響應度
49:1	0.019mA/W
48:2	1.27×10^{-2} mA/W
47:3	4.82×10^{-3} mA/W
46:4	2.85×10^{-3} mA/W
45:5	5.19×10^{-3} mA/W

4. 結論

在本研究中，我們探討氧化銦鎵鋅(IGZO)薄膜材料特性以及其作成薄膜電晶體和光感測器之可行性。第一部分實驗，著重探討氧化銦鎵鋅薄膜材料特性，利用 UV-vis 測量薄膜的穿透率，可發現 IGZO 在可見光譜區域穿透率高於 80% 以上，在低波長區域有高吸收率，且利用橢圓偏光儀進一步可確認 IGZO 在可見光波段屬於透明膜，也就是消光係數為 0。透過 XRD 可得知 IGZO 為非晶結構，其具有高均勻性、低電子缺陷及低介面態密度等優點。透過 Alpha-step 測量，我們得知氧氣流量的增加會造成 IGZO 薄膜的厚度變薄，濺鍍率降低。由霍爾效應測量儀可知 IGZO 薄膜在氫氧比為 49:1 時，能隙、載子濃度和體電阻分別為 3.22(eV)、 $9.64 \times 10^{19}(\text{cm}^{-3})$ 、 $1.37(\Omega/\text{cm})$ 。且利用 Tauc-plot 法可得知，當波長小於 380(nm)的光源照射 IGZO 薄膜，其中的氧空缺會被激發成氧離子空位，導致光電流的產生，由此推斷 IGZO 對於紫外光有高靈敏性。

第二部分為氧化銦鎵鋅薄膜電晶體之電性分析，我們將閘極介電層厚度作為操縱變因，製作 SiO₂/HfO₂ 雙氧化層 TFT 電晶體。由於堆疊結構閘極介電層中的材料 SiO₂ 有較高的介電常數，因此堆疊結構閘極電容的改善成為電流提升的原因，並且 SiO₂ 和

HfO₂ 介電層之間會因為材料能隙的差別使得堆疊結構閘極介電層的電晶體電流與單層 SiO₂ 閘極介電層的元件相較之下，有較大的驅動電流(Drive Current)和電子與電洞載子遷移率的增加，並且臨界電壓隨之降低。從電性結果顯示，堆疊結構介電層比單層介電層 SiO₂ 元件有更好的電特性，基於前述的優異電性表現與製程相容性，此堆疊結構閘極介電層目前普遍使用於半導體廠且完全相容於現有的積體電路製程技術，使得堆疊結構閘極介電層具有應用於高效能電晶體技術的潛力。

第三部分為探討氧化銦鎵鋅薄膜光感測器之電性，測試光源波長為 380nm。從電性結果顯示，在濺鍍氬氧比為 49:1 時，IGZO 光感測器具有較好的光感測元件特性，與濺鍍氬氧比為 48:2 的元件相比之下，光電流提升約 15 倍，光響應提高 30 倍，具有明顯的光電特性，照射相同波長的光源能產生較大的光電流。並且比對在氮氣下 300 度退火 30 分鐘後的光電特性，發現在濺鍍氬氧比為 48:2 時，光電流與暗電流比值相對於未退火的元件提高一個量級。證明退火可以有效地消除氧空缺，讓濺鍍環境的氧氣濃度不再造成過大的差異性。以上結果表明，沉積薄膜時的氣氛比對於電性能有很大的影響，並且對光感測器進行退火能使元件性能得到明顯的提升。

5. 致謝

首先由衷感謝指導教授許世昌教授在過程的協助，給予我們在實驗及操作上的建議，並且不厭其煩地督促及鼓勵我們，讓研究能順利完成。也感謝成大儀器中心提供實驗及測量儀器，讓本實驗更加完整。

6. 參考文獻

- [1] Hideo Hosono, "Ionic amorphous oxide semiconductors: Material design, carrier transport, and device application", *Journal of Non-Crystalline Solids*, Volume 352, Issues 9–20, 15 June 2006, Pages 851-858.
- [2] Fung, T. C., Chuang, C. S., Nomura, K., Shieh, H. P. D., Hosono, H., & Kanicki, J. (2008). Photofield-effect in amorphous In-Ga-Zn-O (a-IGZO) thin-film transistors. *Journal of Information Display*, 9(4), 21-29.
- [3] Qi, L., Hu, Z., Li, W., Qin, X., Du, G., Han, W., & Shi, W. (2012). Influence of substrate on the growth of microcrystalline silicon thin films deposited by plasma enhanced chemical vapor deposition. *Materials science in semiconductor processing*, 15(4), 412-420.
- [4] Yamazaki, S. (2012). New crystalline structure yields reliable thin-film transistors. *SPIE Newsroom*, 1, 2-4.
- [5] Xu, R., He, J., Li, W., & Paine, D. C. (2015). Performance enhancement of amorphous indium-zinc-oxide thin film transistors by microwave annealing. *Applied Surface Science*, 357, 1915-1919.
- [6] W. L. Peng, "Transparent contact of Indium Tin Oxide GaN LED," Master's thesis, National Chiao Tung University, 2004 years.

- [7] 李世欽, “射頻磁控濺鍍 p 型銦銅氧透明導電膜之研究,” 國立成功大學材料工程學系, 2008 years.
- [8] Schuegraf, K.F.; Chenming Hu, “Hole injection SiO₂/sub 2/ breakdown model for very low voltage lifetime extrapolation” IEEE Trans. Electron Devices, Vol. 41, pp. 761, 1994.
- [9] Kang, D., Lim, H., Kim, C., Song, I., Park, J., Park, Y., & Chung, J. (2007). Amorphous gallium indium zinc oxide thin film transistors: Sensitive to oxygen molecules. Applied physics letters, 90(19), 192101.
- [10] Lin, S. T. (2006). Fabrication and Simulation of the Bottom Gate Thin Film Transistor with Smart Body Tie (Doctoral dissertation, NSYSU).
- [11] Cassé, M., Thevenod, L., Guillaumot, B., Tosti, L., Martin, F., Mitard, J., ... & Boulanger, F. (2006). Carrier transport in HfO₂/metal gate MOSFETs: physical insight into critical parameters. IEEE Transactions on Electron Devices, 53(4), 759-768.
- [12] 黃聖恩, “以電子束蒸鍍氧化鋅薄膜製作紫外光偵測器之研究,” 碩士論文, 屏東大學, 2018.
- [13] Chen, Y. J., Tai, Y. H., & Chang, C. Y. (2016). “Mechanism of hysteresis for a-IGZO TFT studied by changing the gate voltage waveform in measurement.” IEEE Trans. Electron Devices, vol. 63(4), pp.1565-1571.
- [14] Lee, J. M., Cho, I. T., Lee, J. H., & Kwon, H. I. (2008). “Bias-stress-induced stretched-exponential time dependence of threshold voltage shift in InGaZnO thin film transistors.” Applied Physics Letters, vol. 93(9), pp. 9354.
- [15] Chen, W. T., Lo, S. Y., Kao, S. C., Zan, H. W., Tsai, C. C., Lin, J. H., ... & Lee, C. (2011). “Oxygen-Dependent Instability and Annealing/Passivation Effects in Amorphous In-Ga-ZnO Thin-Film Transistors.” IEEE Electron Device Letters, vol.32(11), pp.1552-1554.
- [16] Chur-ShyangFuh, Simon MinSze, Po-TsunLiu, Li-FengTeng, Yi-TehChou, Role of environmental and annealing conditions on the passivation-free in-Ga-Zn-O TFT, Thin Solid Films, 2011, p.1489- 1494.