

不同有機材料保護層對 a-IGZO TFT 影響探討

受稿日期：2010.12.16；修改日期：2011.5.10；接受刊載日期：2011.6.20

陳炳茂^{1,2*} 林宗德¹ 鄧立峯³ 李宗澤¹ 般尚彬^{1,2} 劉柏村³

1：明新科技大學電子工程所

2：明新科技大學光電系統工程系

3：國立交通大學光電工程系所

摘要

在本研究中，使用直流濺鍍(DC Sputter)的方式沉積氧化銻鎵鋅薄膜(Indium-Gallium-Zinc-Oxide, IGZO)，在薄膜上旋塗不同的有機材料作為保護層(Passivation Layer)，探討保護層對元件特性造成的影响，發現臨界電壓(Threshold Voltage, V_{th})均會向左飄移、次臨界擺幅(Sub-threshold Swing, S.S)提升、飽和電流(Saturation Current)下降、電子遷移率(Mobility)下降，並推斷當有機材料內的水與有機溶液接觸到主動層造成破壞導致電性下降，並發現使用編號為SOG之高分子材料當保護層的特性最好。

關鍵詞：氧化銻鎵鋅、保護層、直流濺鍍、臨界電壓、次臨界擺幅、電子遷移率

Electrical Characteristic on a-IGZO Thin-Film Transistors with Organic Materials as Passivation Layers

Manuscript received December 16, 2010; revised May 10, 2011; accepted June 20, 2011.

Chen, Bing-Mau^{1,2} Lin, Tsung-Te¹ Teng, Li-Feng³ Li, Zong-Ze¹
Ying, Shang-Ping^{1,2} Liu, Po-Tsun³

1: Department and Institute of Electronic Engineering, Minghsin University of Science and Technology

2: Department of Opto-Electronic System Engineering, Minghsin University of Science and Technology

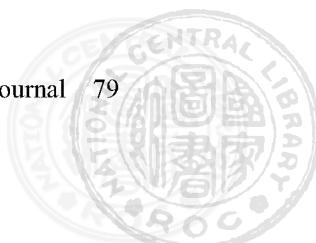
3: Department of Photonics and Institute of Electro-Optical Engineering, National Chiao Tung University

Abstract

In this study, we deposited amorphous indium gallium zinc oxide (a-IGZO) in the active layer by DC sputter, and compared the components of different spin coating with organic material as passivation layers. And found saturation current decay, threshold voltage shift to left direction, Sub-threshold Swing uplift and mobility decreased with passivation cause deterioration of device characteristics. Corollary is that water and organic solvents solvents contact with device resulting in damage with electrical properties of device. Finally, passivation layer with organic material by SOG

* 通訊作者：陳炳茂（光電系統工程系助理教授兼系主任） 地址：新竹縣新豐鄉新興路 1 號

Tel : 03-5593142 轉 3382 E-mail : bmchen@must.edu.tw



has the best properties.

Keywords: IZGO, Passivation, Direct current sputter, Sub-threshold swing, Threshold voltage, Mobility

一、緒論

在綠色能源科技的蓬勃發展下，顯示電子技術也從傳統的冷陰極射線管 (Cathode Ray Tube, CRT)演變至今的平面顯示器 (Flat Plane Display, FPD)，朝向高效能、低功耗的顯示元件及驅動電路技術發展。目前液晶顯示器 (Liquid Crystal Display, LCD)朝向高解析度以及降低功率消耗為主軸，為了達到這些目標，進而發展出高載子遷移率 (High Mobility)的元件。

薄膜電晶體 (Thin Film Transistor, TFT)主動層 (Active Layer)材料分為非晶矽 (Amorphous Silicon, a-Si)以及多晶矽 (Polycrystalline Silicon, Poly-Si)為主。非晶矽的製作簡易且成本低，但電子遷移率很低；相對的多晶矽具有高載子遷移率但製作成本高且設備昂貴。因此，近年來許多的研究團體發展出一種透明導電氧化物 (Transparent Conducting Oxide, TCO)來做為半導體材料。其中最具代表性的就是氧化鋅 (Zinc Oxide, ZnO)，它具有高載子遷移率、高穿透率 (High Penetration Coefficient)以及對光的不敏感性。

透明氧化物半導體早期以氧化鋅材料做為主流，並且被廣泛應用於觸控式螢幕 (Touch Panel)、太陽能電池 (Solar Cell)、顯示器 (Display)等。雖然氧化鋅具有高載子遷移率及高透光度，但本身還是有許多缺陷存在。因此，在本論文中提出新的材料為氧化銻鎵鋅 (Indium-Gallium-Zinc-Oxide, IGZO)做為半導體層，許多的研究團隊成功的使用雷射脈衝雷射 (Pulse Laser Deposition, PLD)，直流濺鍍 (DC Sputter)和射頻濺鍍 (RF Sputter)製作出高載子電子遷移率的非晶矽氧化銻鎵鋅薄膜電晶體[1-3]。然而氧化銻鎵鋅可在室溫下製程，且具有較高的載子移動率可達 $10 \text{ cm}^2/\text{Vs}$ 以及透明和可撓 (Flexible)的特性[4]，若可將其取代非晶矽及多晶矽半導體材料，未來在軟性面板上將會扮演一個重要的角色。但氧化銻鎵鋅薄膜電晶體目前尚有可靠度的問題，因此在研究中，使用直流濺鍍的方式去沉積 IGZO，並將元件旋塗上不同的有機材料當作保護層 (Passivation Layer)，探討保護層對元件特性造成的影響。

二、文獻回顧

在主動式液晶顯示器的需求急劇成長下，例如家用電視、筆記型電腦等許多 3C 產品的應用帶給人們很大的便利。因此薄膜電晶體在製作上就顯得相當的重要，目前在液晶顯示器上的應用是以非晶矽薄膜做為主動層的主流。但非晶矽的電子遷移率還是相當的低，必須加大電晶體通道的長度和寬度比例才能彌補電流的不足，造成開口率 (Aperture Ratio)變小，必須提高背光模組 (Back Light Module)的亮度來補償光的損失，消耗過多的能源。且非晶矽並不透光，對光又極為敏感，因此業界不斷投入研發來抑制非晶矽薄膜電晶體光漏電 (Photo Leakage Current)的效應。造成額外的製程以及較複雜的元件結構，導致製造成本的增加。[5-6]

透明氧化物半導體有許多的優點，如表 1 所示。大部分研究團隊所研究的透明氧化物半導體材料分為兩大類，一為氧化鋅，另一則為含重金屬的非晶態氧化物，如 InGaZnO_4 (a-IGZO)。將兩者做比較會發現，a-IGZO 適用於大面積顯示器或電子紙驅動用薄膜電晶體，未來有機會取代傳統的非晶矽或多晶矽材料。



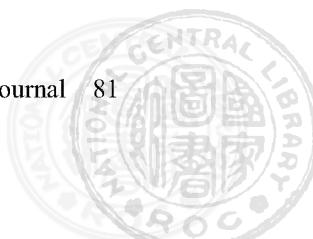
表 1 透明氧化物與傳統電晶體材料特性比較

薄膜電晶體半導體層材料	非晶矽	低溫多晶矽	透明氧化物
載子移動率 (cm^2/Vs)	<1	50~100	1~100
次臨界擺幅(V/dec)	0.1~0.6	0.4~0.5	0.2~0.3
製程溫度	室溫	約 250°C	250°C 以上
製作成本	低	高	低
可能應用	電子紙、TFT-LCD、OLED 顯示器等	TFT-LCD	TFT-LCD、小型 OLED 顯示器

非晶矽氧化銻鋅廣泛的被許多研究團隊所研究，其中包含韓國的三星 (Samsung)、樂金 (LG) 等國際大廠的投入。其中凸版印刷公司 (Toppan Printing Company) 最早投入將 a-IGZO TFT 應用在電子紙上，並在 2005 年完成以 a-IGZO TFT 驅動的主動陣列型的可撓式電子紙。而後 2007 年樂金在顯示器研討會 (Society Information Display, SID) 展出以 a-IGZO 電晶體驅動之主動矩陣型液晶平面顯示器 (Active Matrix Liquid Crystal Display, AMLCD) 有機發光二極體 (Organic Emitting Diode, OLED) 面板並展示動畫。2008 年三星也陸續製作出十二吋以及十五吋的非晶矽氧化銻鋅薄膜電晶體主動矩陣型液晶平面顯示器。而國內許多知名大廠也投入人力於 a-IGZO 的研究中，由此可見氧化銻鋅未來的發展是相當具有潛力的。

三、元件製作與量測

在本研究中，所有的元件皆採交錯式 (Staggered) 的結構，如圖 1 所示。首先在矽基板上以熱氧化 (Thermal Oxide) 的方式成長 1000 Å 的二氧化矽 (SiO_2) 作為絕緣層，之後使用直流濺鍍的方式沉積 500 Å 的氧化銻鋅做為主動層，再以射頻濺鍍的方式沉積 500 Å 的氧化銻錫 (Indium Tin Oxide, ITO) 當作源極 (Source) 和汲極 (Drain)。使用遮罩 (Shadow mask) 定義氧化銻鋅與源極及汲極之圖型。待元件製作完成後退火 (Annealing)，在大氣下通入氮氣以溫度為 450 °C 退火 1 小時。最後旋塗不同的有機材料作為保護層，分別編號為 SOG、PC411B、P50D 及 P50E 之高分子材料。在上保護層前後使用 Keithley SCS-4200 半導體特性量測系統量測元件的電性；在參數萃取的部分，利用定電流法得到臨界電壓 (Threshold voltage, V_{th})，將汲極電流為 10nA 時所對應的閘極電壓 (Gate Voltage) 定義為臨界電壓。



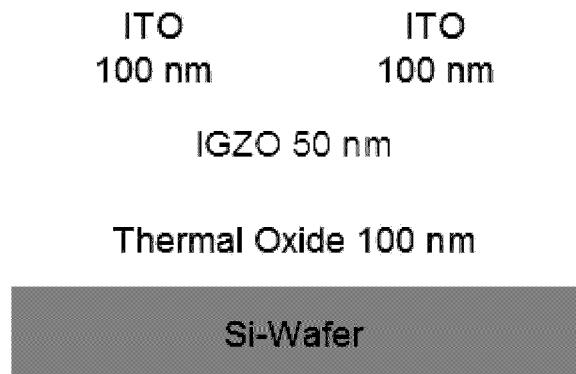


圖 1 交錯式(Staggered)結構示意圖

四、結果與討論

在元件上旋塗不同的四種有機材料(SOG, PC411B, P50D, P50E)做保護層的電特性，如圖 2 所示。由實驗結果顯示，不管是哪一種材料，均可觀察到保護層使飽和電流下降，臨界電壓向左飄移，漏電流則無關聯，並且發現其中以 SOG 作為保護層之開電流下降量最小。氧化銦鎵鋅材料本身對於水與氧非常敏感，推測造成此現象是因為水與有機溶液的接觸造成破壞導致電性下降。在這些材料之中，其中又以 SOG 的電性為最佳。

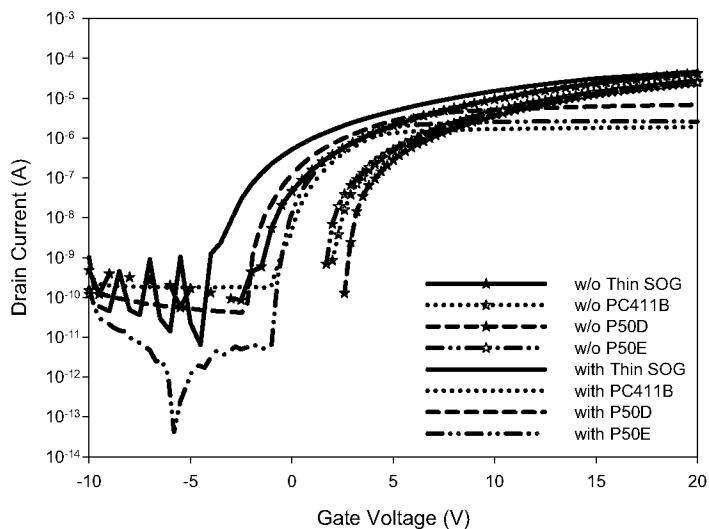


圖 2 不同材料保護層對薄膜電晶體之影響

由於 PC411B、P50D 及 P50E 電性上差異不大，將隨機選出 P50E 與特性較好的 SOG 做厚度上的探討，如圖 3 所示。薄膜是以每分鐘三千轉的轉速做旋塗，厚膜則是每分鐘八百轉來定義，可以觀察到厚度增加時並沒有明顯的變化量，因此推斷影響電性的關鍵是材料本身的特性，而不是厚度。

對四種材料保護層及兩種厚度之臨界電壓關係，如圖 4 所示。可以觀察到 SOG 的變化量為最小，均勻性也最好。接著看次臨界擺幅(Sub-Threshold Swing, S.S)與電子遷移率(Mobility)，如表 2 所示，發現塗上了保護層之後次臨界擺幅皆會上升，而 SOG 的電子遷移率幾乎沒有改變，其他材料則有明顯的下降。



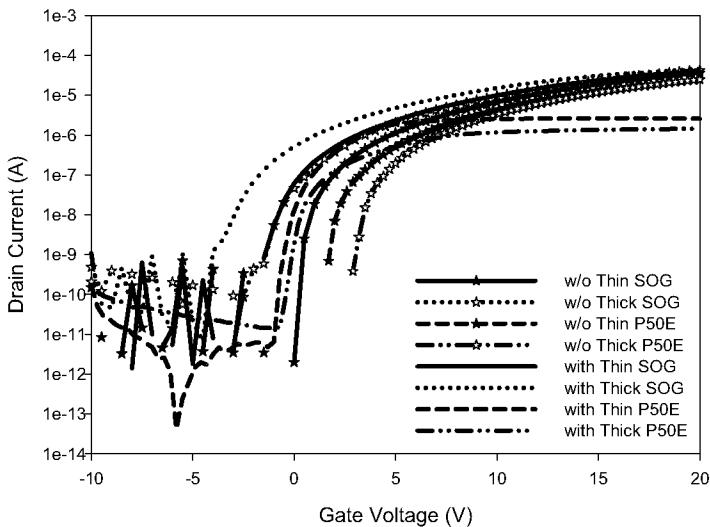


圖 3 不同厚度的保護層對薄膜電晶體之影響

表 2 塗上不同保護層材料後之
次臨界擺幅與電子遷移率

Parameter Materials	without passivation		with passivation	
	S.S(V/dec)	$\mu_{FE}(\text{cm}^2/\text{Vs})$	S.S(V/dec)	$\mu_{FE}(\text{cm}^2/\text{Vs})$
Thin SOG	0.16	7.90	0.61	7.25
Thick SOG	0.52	7.83	1.08	7.52
PC411B	0.47	6.15	0.87	4.35
P50D	0.23	6.50	0.32	5.08
Thin P50E	0.20	5.65	0.29	2.87
Thick P50E	0.35	6.47	0.34	2.10

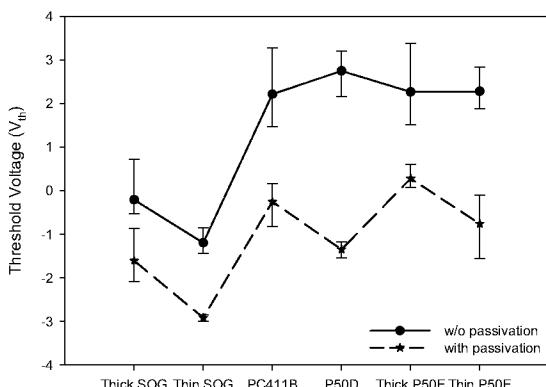
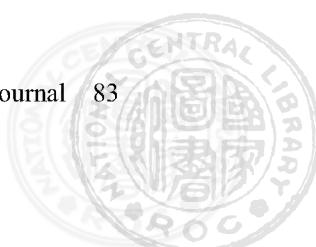


圖 4 不同保護層材料之臨界電壓

除了探討保護層的影響外，為了確定保護層有抵擋外在環境的影響，因此需探討在高溫高濕的環境下，保護層是否真的有作用。塗上保護層後與放置在高溫高濕環境下(溫度 65°C、相對濕度 95%放置十三天)對薄膜電晶體的影響，如圖 5 所示。從圖中可以發現，臨界電壓稍微往左邊飄移，也就是說保護層有阻絕掉大部分外在環境水氣的影響，但並非完全，因此有微量的飄移。

從圖 5 中發現，元件確實在高溫高濕的環境下稍受到影響，因此再以烘烤 120°C 時間 20 分鐘，探討烘烤對薄膜電晶體之影響，如圖 6 所示。可以發現在烘烤後，臨界電壓有往右邊飄移，推測是因為烘烤時將元件內的水氣烤乾，致使臨界電壓向右飄移。



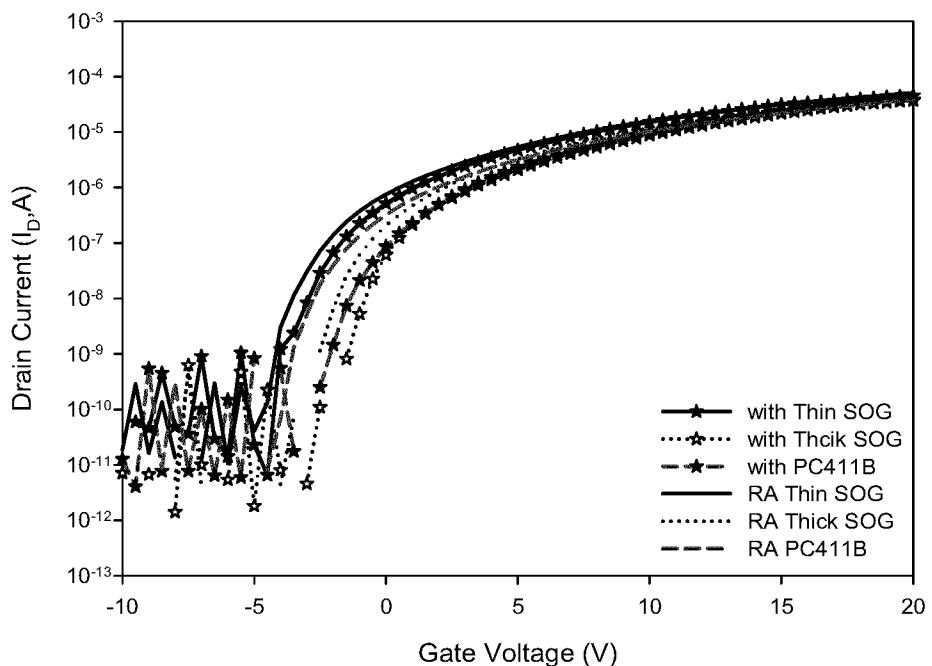


圖 5 高溫高濕環境下對薄膜電晶體之影響

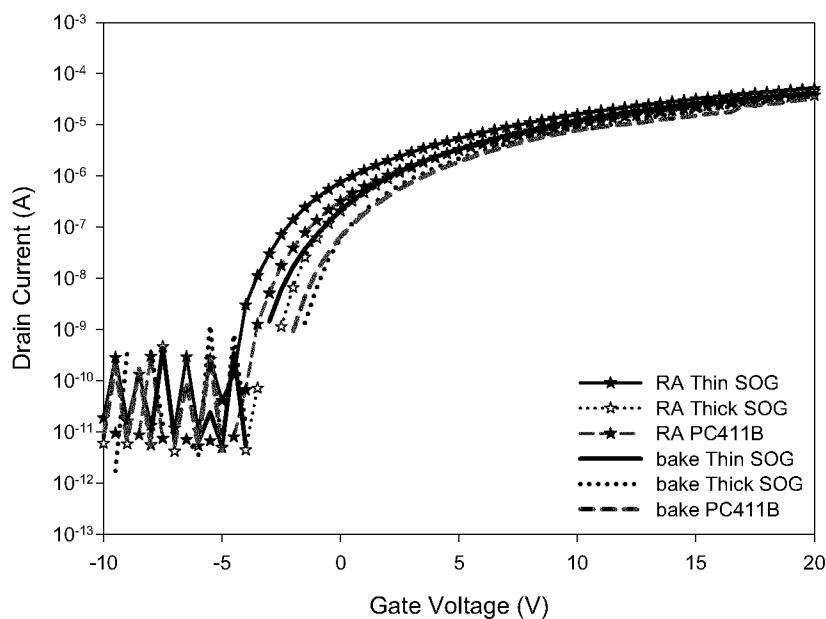


圖 6 烘烤後對薄膜電晶體之影響

塗上保護層後與烘烤後之薄膜電晶體比較，如圖 7 所示。可發現元件在烘烤後，元件電性幾乎恢復到塗上保護層後的狀態，這也證明了上述推測的正確，確實水氣造成元件電性的影響。



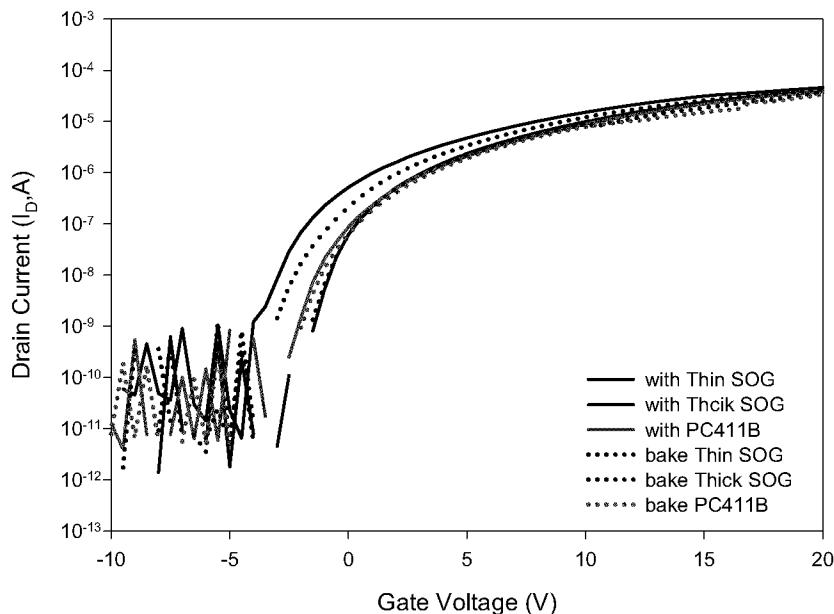


圖 7 烘烤後對薄膜電晶體之影響

將旋塗上保護層前後、高溫高濕環境下以及烘烤後之臨界電壓做比較，如圖 8 所示。可以觀察到當元件旋塗上保護層之後，臨界電壓皆往左邊飄移是因為有機溶液與水所造成的影响。而放置在高溫高濕環境下的元件則會再稍微往左邊飄移，則是保護層阻絕掉大部分外在環境所造成的影响，但並沒有完全抵擋到外在的水與氧，因而受到些微的變化。最後經過烘烤後，元件的臨界電壓則會恢復到旋塗上保護層之後的狀態。證實烘烤確實將水氣烘烤掉，導致元件之臨界電壓往右邊飄移回來。

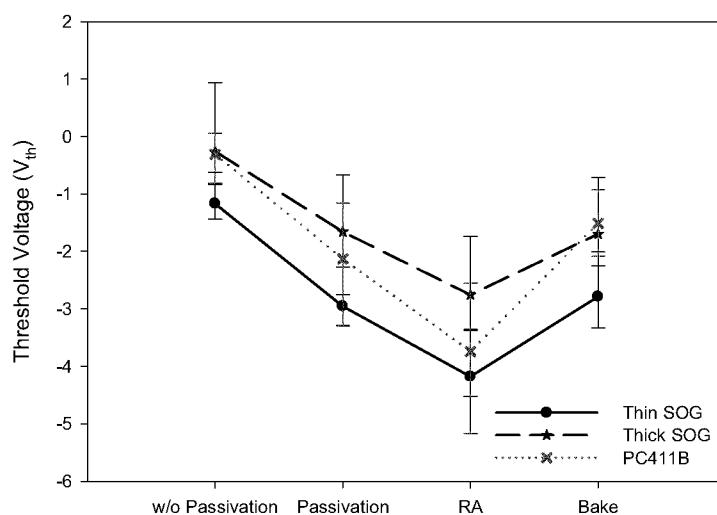
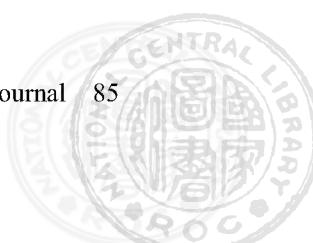


圖 8 旋塗上保護層前後、高溫高濕環境下以及烘烤後之臨界電壓比較

五、結論

在此研究中發現不管元件旋塗上任何的有機溶液之後皆會造成飽和電流下降、臨界電壓往左漂移、次臨界擺幅增加、電子遷移率下降，導致元件特性變差。推論是作為保護層之有機材料內的水與有機溶



液接觸所造成的破壞使元件電性下降。並發現以 SOG 為最佳材料，飽和電流下降最少，電子遷移率幾乎沒變，未來將對此材料繼續做可靠度測試與照光分析之探討。另一方面，在高溫高濕的環境下保護層雖然並沒有完全阻絕外在的影響，但在如此惡劣的條件下也只有些微的變化，經烘烤後也證實能有效的烤掉水氣，造成臨界電壓向右邊飄移回來。

六、致謝

感謝國家科學委員會 (NSC) 依據計畫編號. NSC 96-2221-E-009-130-MY3 以及感謝國家奈米中心 (NDL) 計畫編號 NDL99-C01M2-008、明新校內專題計劃 MUST-100 光電 3。

七、參考文獻

1. Arun Suresh, Praveen Gollakota, Patick Wellenious, Anuj Dhawan, & John F. Muth. (2008). Transparent, High Mobility InGaZnO Thin Films Deposited by PLD. *Thin Solid Films*, 516(7), 1326-1329.
2. Jae Sang Lee, Seongpil Chang, Sang-Mo Koo, & Sang Yeol Lee. (2010). High-Performance a-IGZO TFT with ZrO₂ Gate Dielectric Fabricated at Room Temperature. *IEEE*, 31(3), 225-227.
3. Woong-Sun Kim, Yeon-Keon Moon, Kyung-Taek Kim, Je-Hun Lee, Byung-du Ahn, & Jong-Wan Park. (2010). An Investigation of Contact Resistance between Metal Electrodes and Amorphous Gallium-Indium-Zinc Oxide (a-IGZO) Thin-Film Transistors. *Thin Solid Films*, 518(22), 6357-6360.
4. Kenji Nomura, Hiromichi Ohta, Akihiro Takagi, Toshio Kamiya, Masahiro Hirano, & Hideo Hosono. (2004). Room-Temperature Fabrication of Transparent Flexible Thin-Film Transistors Using Amorphous Oxide Semiconductors. *Nature*, 432, 488-492.
5. R. Baeuerle, J. Baumbach, E. Lueder, & Siegordner. (1999). in *S'D'99 Digest Society of Information Display*, 14.
6. Z. Suo, E. Y. Ma, H. Gleskova, and S. Wagner. (2002). Thin-Film Transistor Circuits on Large-Area Spherical Surfaces. *Appl. Phys. Lett.*, 81, 2091.

