

용액공정을 이용한 zinc tin oxide 박막 트랜지스터와 회로제작에 관한 연구

허재상*, 김영훈**, 박성규*

융복합 전자소재/소자 연구실, 전북대학교*,
전자부품 연구원 플렉서블 디스플레이 연구센터**

Zinc tin oxide thin film transistors and simple circuits using a solution process

Jae-Sang Heo*, Young-Hoon Kim**, Sung-Kyu Park*

Convergence Materials & Displays Laboratory, Chonbuk National University*,
Flexible Display Research Center, Korea Electronics Technology Institutes**.

Abstract - Solution processed zinc tin oxide (ZTO) thin films were studied using a spin coating for the fabrication of thin film transistors and simple circuits. The solution processed thin film transistors ($W/L = 100/10 \mu\text{m}$) have the average saturation mobility of $1.9 \text{ cm}^2/\text{Vs}$, threshold voltage of 20 V , and subthreshold slope of 0.5 V/decade . The dc characteristics of an inverter with $W_{\text{load}} = 100 \mu\text{m}$ and $W_{\text{drive}} = 10 \mu\text{m}$, measured under voltage supply of $V_{\text{DD}} = +50 \text{ V}$. The inverter beta ratio is 20 ($R = (W_{\text{drived}}/L_{\text{drive}})/(W_{\text{load}}/L_{\text{load}}) = 20$) and gain_{max} is 2 . The characteristics of an oscillator were measured under voltage supply of $V_{\text{DD}} = +60 \text{ V}$.

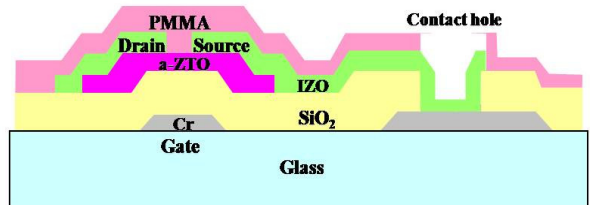
서 그 위에 poly(methyl methacrylate) (PMMA)를 코팅 해주었다. 모든 전기적 특성은 Keithley 4200 SCS 를 이용하여 측정하였다.

1. 서 론

Zinc oxide (ZnO), indium-gallium-zinc oxide (IGZO), indium-zinc oxide (IZO), 그리고 zinc-tin oxide (ZTO) 등과 같은 ZnO를 기본으로 한 산화물 반도체는 비정질 실리콘을 기본으로 한 박막 트랜지스터 (TFT)와 비교해서 높은 이동도, 투과도, 균일성, 그리고 전기적 안정성을 가지고 있기 때문에 AMLCD 와 AMOLED의 스위칭 소자로서 사용될 것으로 많은 기대를 받고 있다. 이러한 산화물 반도체는 sputtering, pulsed-laser deposition, atomic layer deposition 등과 같은 박막특성이 우수한 진공 증착법을 사용하여 제작한 TFT에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다.[1-2] 최근 진공공정과 비교해서 저비용 공정인 spin coating, ink-jet printing 등과 같은 저비용 process를 많은 그룹에서 시도하고 있다.[3-4] 하지만 대다수의 용액공정 산화물 반도체에 대한 연구는 코팅된 막의 균일성과 대면적에서의 device 안정성에 대한 토의 없이 TFT의 특성에만 초점을 맞춰왔던 것이 사실이다.

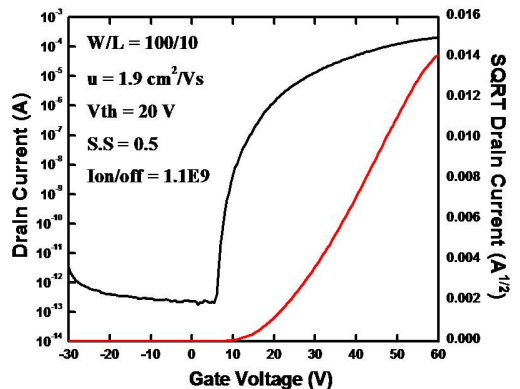
2.2 결과 및 고찰

그림 1 은 유리기판 위에 만든 ZTO TFT 의 단면도이다. 다음으로 그림 2 는 용액공정으로 만든 ZTO TFT 의 transfer curve 를 나타내었다. 유리기판 위에 만든 ZTO TFT 의 평균 전자 이동도는 $1.9 \text{ cm}^2/\text{Vs}$, 문턱전압은 20 V , subthreshold slope은 0.5 V/decade , on/off ratio 는 $1.1\text{E}9$ 를 나타내었다. 그림 3은 용액공정으로 만든 ZTO TFT의 positive bias stress 결과를 나타낸다. stress 조건은 $V_G = 20 \text{ V}$, $V_D = 0.1 \text{ V}$ 이고 왼쪽 curve부터 초기 측정값, 1분 후, 5분 후, 한 시간 후의 결과를 나타낸다. 초기 측정 결과와 비교해서 1시간 동안 stress 후의 V_{th} 이동은 positive 방향으로 6 V 정도를 나타내었다. 초기 측정값과 한 시간 후의 측정값의 S.S 변화는 보이지 않으며 이것은 back channel 쪽의 대기 흡착에 의한 결과로 보인다.[5-8]



〈그림 1〉 용액공정을 이용한 ZTO TFT의 단면구조

최근, 많은 디스플레이 제조사들은 저비용 공정으로 디스플레이 backplane에 gate driver를 집적시키려는 시도를 하고 있다. 고속 동작하는 gate driver를 구현하기 위해서는 대면적에서 균일한 특성을 갖는 TFT의 제작이 필요하다. 이 연구에서는 $1.9\text{cm}^2/\text{Vs}$ 의 전자 이동도를 갖는 용액공정 ZTO TFT를 제작하였고 이를 이용하여 고속 동작하는 7stage ring oscillator 를 제작하였고 그 특성을 측정 분석하였다.



〈그림 2〉 졸-겔 공정을 이용한 ZTO TFT의 transfer 특성

2. 본 론

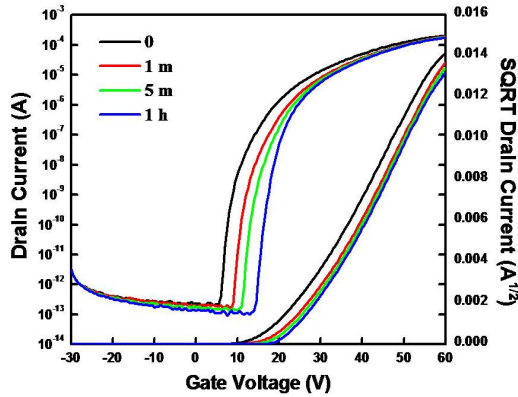
2.1 실험

ZTO 용액은 0.07M의 Zinc Chloride (ZnCl_2) 와 0.07M의 Tin(II) Chloride (SnCl_2)를 Acetonitrile (CH_3CN)에 녹여서 제작하였다. 이 용액을 용해시키기 위해 상온에서 20분 동안 stirring 장비를 사용하여 섞어 주었다. TFT와 간단한 회로는 유리기판위에 제작되었다. 게이트 전극으로써 Cr을 sputtering으로 증착하였고, 습식식각공정으로 패턴을 형성하였다. 다음으로 게이트 절연막인 SiO_2 200 nm를 350도에서 plasma-enhanced chemical vapor deposition으로 증착하였다. 게이트 절연막 위에 ZTO channel layer를 4000rpm에서 30초 동안 spin coating하고 $200 \text{ }^\circ\text{C}$ 에서 10분간 prebake 하여 solvent를 제거하였다. 다음으로 희석시킨 불산 ($\text{HF} : \text{distilled water} = 1 : 500$)을 이용하여 습식식각을 해주어 패턴을 형성시킨 후 rapid thermal annealing (RTA)을 이용해 $500 \text{ }^\circ\text{C}$ 에서 10분 동안 ZTO 층을 열처리 해주었다. 소스와 드레인 전극의 형성을 위해 RF-magnetron sputtering을 이용하여 indium zinc oxide (IZO) 증착 시켰고 lift-off 공정을 이용하여 소스/드레인 전극을 형성하였다. 소스와 드레인 전극은 너비 $100 \mu\text{m}$, 길이 $5-50 \mu\text{m}$ 를 가지는 채널을 형성하였고, 마지막으로 채널의 공기 중 노출을 막기 위해

그림 4 (a) 와 (b) 는 ZTO TFT 를 이용하여 제작한 인버터와 링 오실레이터의 특성 곡선과 인가전압에 따른 속도 변화를 나타낸다. 인버터는 ZTO TFT 두 개로 구성되었으며 load 쪽 TFT 의 gate 와 drain 을 V_{DD} 에 연결함으로써 증가형으로 제작하였다. 그림 4 (a)는 beta ratio 가 20인 인버터의 전압특성이다.

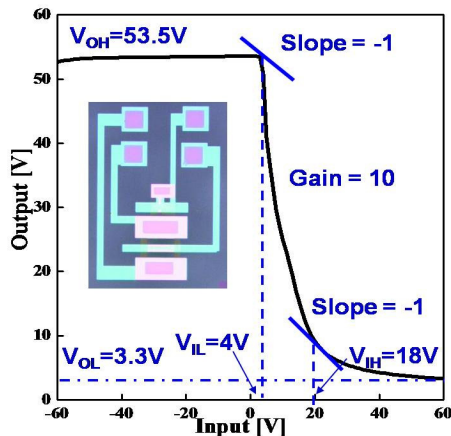
〈표 1〉 용액공정 ZTO TFT로 제작된 인버터의 스위칭 파라미터

Solution-processed ZTO inverter	
Voltage gain (V/V)	10
V_{OH} (V)	53.5
V_{OL} (V)	3.3
V_{IH} (V)	18
V_{IL} (V)	2
NM_H (V) (= $V_{OH} - V_{IH}$)	35.5
NM_L (V) (= $V_{IL} - V_{OL}$)	0.7
Transition width	14

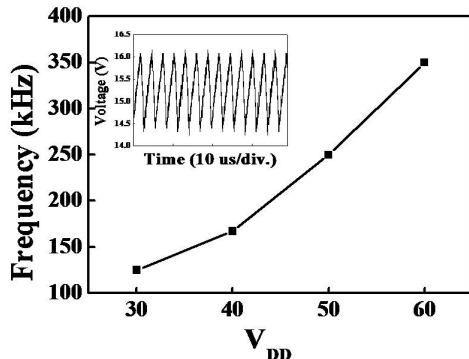


〈그림 3〉 positive bias stress($V_{GS}=20$ V, $V_{DS}=0.1$ V) 후, ZTO TFT의 transfer curve

제작된 인버터의 전압이득은 최대 10이고, 높은 곳에서 낮은 곳으로 천이 되는 폭은 14 V 이다. 인버터의 여러 가지 parameter 들은 표 1에 나타내었다. 그림 4 (b) 는 beta ratio 20인 링 오실레이터의 전압에 따른 발진 주파수를 나타낸 그래프이고 그래프 안의 사진은 제작된 7단 링 오실레이터이다. 링 오실레이터는 인버터를 홀 수개(3개 이상)로 연결하여 마지막 인버터 출력을 다시 첫 번째 인버터의 입력으로 귀환 시킴으로써 구성된다. 용액공정 ZTO TFT 로 제작된 7단 링 오실레이터의 발진 주파수는 $V_{DD} = 60$ V 일 때, 350 kHz 이며 이 때의 propagation delay 는 스테이지 하나에 200 ns 이다.



(a)



(b)

〈그림 4〉 인버터의 전압특성(a)과 V_{DD} 전압에 따른 7단 링 오실레이터의 발진 주파수

3. 결 론

용액공정 ZTO TFT 를 이용하여 유리기판 위에 인버터와 링 오실레이터를 제작하였다. 본 연구의 결과로 대면적 디스플레이의 스위칭 소자와 구동회로를 제작하는데 용액공정 ZTO TFT가 저가격화와 우수한 특성을 나타내는 디바이스 소자제작에 좋은 대안이 될 수 있을 것이라 생각된다.

[참고 문헌]

- [1] C. Chen, K. Abe, H. Kumomi, and J. Kanicki, Journal of the SID, 17/6, 525-534 (2009)
- [2] K. Nomura, A. Takagi, T. Kamiya, H. Ohta, M. Hirano, and H. Hosono, J. J. Appl. Phys. 45, 4303 (2006)
- [3] Y. J. Chang, D. H. Lee, G. S. Herman, and C. H. Chang, Electrochem. Solid-State Lett. 10, H135 (2007)
- [4] D. H. Lee, Y. J. Chang, G. S. Herman, and C. H. Chang, Adv. Mater. (Weinheim, Ger.) 19, 843 (2007)
- [5] H. Gleskova and S. Wagner, IEEE Trans. Electron Device 48, 1667 (2001)
- [6] P. Gorn, P. Holzer, T. Riedl, and W. Kowalsky, S. Kipp, Appl. Phys. Lett. 90, 063502 (2007)
- [7] J. K. Jeong, H. W. Yang, J. H. Jeong, Y. G. Mo, and H. D. Kim, Appl. Phys. Lett. 93, 123508 (2008)
- [8] S. K. Park, Y. H. Kim, H. S. Kim, and J. I. Han, Electrochem. Solid-State Lett., 12, H256-H258 (2009)