

## 용액공정으로 제작한 PVP-IZO TFT의 UV-O<sub>3</sub> 처리를 통한 전기적 특성 향상 연구

김유정\*·정준교\*·박정현\*·정병준\*·이가원\*\*†

\*충남대학교 전자전파정보통신공학과, \*\*†충남대학교 전자공학과

### Study on Electrical Characteristic Improvement of PVP-IZO TFT Prepared by Solution Process Using UV-O<sub>3</sub> Treatment

Yu Jung Kim\*, Jun Kyo Jeong\*, Jung Hyun Park\*, Jung Byung Jun\* and Ga Won Lee\*\*†

\*Dept. of Electronic Radio Information Communication Engineering

\*\*† Dept. of Electronics Engineering, Chungnam National Univ.

#### ABSTRACT

In this paper, solution based Indium Zinc Oxide thin film transistors (IZO TFTs) were fabricated with PVP gate dielectric. To enhance the electrical properties, UV-O<sub>3</sub> treatment is proposed on solution based IZO TFTs. The gate leakage current and interface trap density is compatible with conventional ZnO-based TFT with inorganic gate insulator. Especially, the UV-treated device shows improved electrical characteristics compared to the untreated device. These results can be explained by X-ray photoelectron spectroscopy (XPS) analysis, which shows that the oxygen vacancy of UV-O<sub>3</sub> treatment is higher than that of no treatment.

**Key Words** : Solution Process, PVP, IZO, UV-O<sub>3</sub>, Thin Film Transistor, Oxygen Vacancy

#### 1. 서 론

개인이 사용할 수 있는 정보의 양이 기하급수적으로 증가하면서 특히 시각 정보를 효율적으로 나타낼 수 있는 다양한 형태의 디스플레이가 요구되고 있다. 그 중 외부 충격에도 깨지지 않으면서 공간적인 제약 없이 구부러지거나 접을 수 있는 디스플레이에 대한 수요가 가장 클 것으로 예측되고 있는데 이러한 소자를 구현하기 위해서는 디스플레이 픽셀을 구동하는 박막트랜지스터(TFT) 역시 유연한 특성을 가져야 한다. TFT의 구성요소 중 유연 소자에 적용하기 위한 게이트 절연체로는 값이 비싸지 않고 열팽창 계수가 플라스틱 기판과 거의 일치하는 유기 유전체가 주목 받고 있다 [1]. 또한 유기 절연체는 용

액 공정과 같은 저가의 공정으로 무기 절연체보다 낮은 온도에서 형성이 가능하기 때문에 유연 기판에 적합하다고 할 수 있다. 이러한 유기 절연체 중 Poly (4-vinylphenol) (PVP)는 열 경화제를 첨가함으로써 저온에서도 가교결합이 용이하게 이루어짐으로써 우수한 절연 특성을 보이는 것으로 보고된 바 있다 [2]. TFT 채널 층의 경우 Zinc Oxide (ZnO) 기반의 산화물 반도체가 가장 활발하게 연구되고 있는데 이는 3 eV 이상의 넓은 에너지 밴드갭으로 투명한 특징뿐만이 아니라 저온 공정이 가능하다는 장점에 기인한다 [3,4,5]. 뿐만 아니라 전계 효과 이동도와 전기적 특성의 균일도 측면에서 기존의 실리콘 기반 소자 대비 우수한 특성을 보인다 [6,7]. 하지만 아직까지 상용화를 고려한 산화물 박막을 형성하는 방법으로 고진공 장비가 이용되고 있어 향후 생산성과 경제적인 측면에서 경쟁력을 가지기 위해서는 용액공정과 같은 비교적 저가의 공정을 통해 우수한 소자 특성을 확보할 수 있는 연구가 필수적

†E-mail: gawon@cnu.ac.kr

이다. 특히 용액공정을 통해 트랜지스터를 제작할 때 열처리 온도가 충분히 높지 않을 경우 잔여 유기물로 인해 박막 품질이 낮아지면서 진공공정에 비해 취약한 전기적 특성을 보이는데 [8] 이러한 한계를 극복하기 위해 플라즈마처리, 어닐링 중 결정화 처리 등의 연구들이 발표되고 있다 [9,10].

본 논문에서는 차세대 유연 디스플레이에 적합한 용액 공정 기반의 트랜지스터를 제작하기 위해 게이트 절연체는 열경화제를 첨가한 유기물을, 채널층은 ZnO 기반의 무기물을 사용한 hybrid 구조의 TFT를 제작하고 소자의 전기적 특성을 향상하기 위해 채널 형성 시 UV-O<sub>3</sub> 처리를 제안하였으며 그 효과를 물리적, 전기적 방법으로 분석하였다.

## 2. 실험방법

### 2.1 PVP 용액 제조

PVP 용액 합성은 전구체 poly(4-vinylphenol) (8 wt%), 열경화제 methylated poly(melamine-co-formaldehyde) (MMF) (1.6 wt%), 용매 propylene glycol monomethyl ether acetate (PGMEA)를 배합하여 제작하였다. 150RPM으로 상온에서 3시간동안 교반한 후 24시간 동안 안정화 시켰다. PVP 용액은 빛이 들어오지 않는 곳에서 제작하고 보관되었다.

### 2.2 IZO 용액 제조

IZO(Indium Zinc Oxide)박막 층의 제작을 위한 용액은 전구체 Zinc nitrate hydrate [(Zn(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>·xH<sub>2</sub>O)]와 Indium nitrate hydrate [(In(NO<sub>3</sub>)<sub>3</sub>·xH<sub>2</sub>O)]를 1:3 비율로 배합하였다. 용매로는 2-Methoxyethanol을 사용하였고 질산을 첨가하여 용해도를 높였다. 이 용액은 0.5mol의 농도로 제작되었다. 이후 70°C에서 150RPM의 속도로 3시간 동안 교반한 후 24시간 동안 안정화 시킨후 0.2μm 필터로 여과하여 사용하였다.

### 2.3 TFT 제작

TFT는 N<sup>+</sup>-type 실리콘 웨이퍼를 기판으로 공정이 용이한 bottom-gate, top-contact 구조로 제작되었다. 게이트 절연체는 스프인코팅 방법을 사용하여 3000RPM으로 30초 동안 Poly [4-vinylphenol] (PVP)를 증착하였으며 250°C에서 1시간 동안 열처리를 해주었다. IZO 박막 또한 PVP와 같은 조건으로 스프인코팅 방법을 사용하여 형성하였다. IZO 박막 한 층 형성 후 상온, 상압 조건에서 185nm, 254nm의 파장의 UV-O<sub>3</sub>를 10분간 처리해주고 IZO 코팅을 두 번 더 반복하였다. 기준 소자(Base)는 박막에 UV-O<sub>3</sub> 처리를 하지 않았다. 채널 박막 형성이 끝난 후 모든 소자는 300°C에서 1시

간 열처리를 하였다. 소오스와 드레인으로 RF sputter로 Ti를 증착하였으며 사진식각공정을 이용하여 패터닝하였다. 마지막으로 Si 기판 뒷면에 RF sputter로 Al을 증착하여 게이트 전극을 형성하였다. 제작된 TFT의 채널의 너비와 길이는 100μm, 10μm이다. 본 연구에서 제작된 TFT의 구조는 Fig 1에 나타내었다.

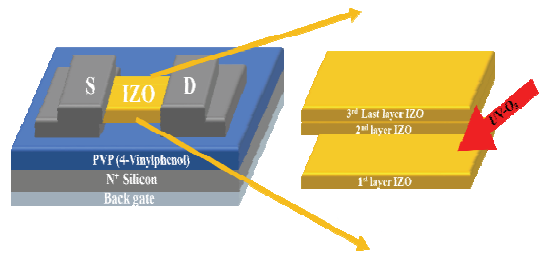


Fig. 1. Schematic of the fabricated solution-based IZO TFTs with UV-O<sub>3</sub> treatment.

## 3. 결과 및 토의

Fig 2는 제작된 소자의 단면 FE-SEM 사진이다. PVP는 열처리 시 가교결합이 증가하면서 박막 내 존재하는 잔여 유기물과 불순물이 제거되어 박막의 밀도가 커지는데 이에 따라 열처리 온도 별로 다른 두께를 보인다 [2]. 250°C에서 열처리한 PVP는 200nm의 두께를 가지며 Base 소자와 UV-O<sub>3</sub>처리한 소자 모두 동일한 두께로 형성되었음을 확인할 수 있다. Base 조건의 IZO 두께는 90nm이고 채널 중간층에 UV-O<sub>3</sub>를 처리한 경우 110nm로 더 두꺼운데 이는 UV-O<sub>3</sub>를 처리한 경우 표면이 더 강한 친수성 성질을 띠면서 이 후 IZO 코팅 과정에 영향을 준 것으로 판단된다.

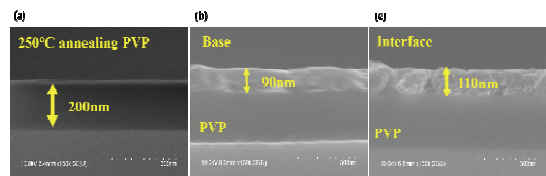


Fig. 2. (a) Cross FE-SEM image of PVP insulator, (b) Base condition and (c) UV-O<sub>3</sub> treatment condition.

Fig 3은 용액공정 기반으로 제작된 유기/무기 hybrid 구조 IZO TFT의 I-V 전달특성곡선을 측정한 결과이다, PVP/IZO 계면 형성에 따른 누설전류의 비이상적인 특성은 관측되지 않았으며 subthreshold slop (SS)을 이용한 다음과 같은 식을 사용해 Base 조건의 계면의 트랩밀도를 계산하였다.

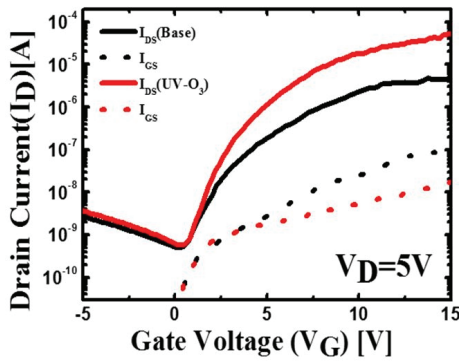


Fig. 3. Measured I-V transfer curve in the fabricated IZO TFTs; Base and UV-O<sub>3</sub> treatment.

Table 1. Extracted electrical parameters of the fabricated solution-based IZO TFTs according to the UV-O<sub>3</sub> treatment

Type	I <sub>onoff</sub> ratio	V <sub>th</sub> (V)	μ <sub>FE</sub> (cm <sup>2</sup> /Vs)	SS (V/dec)
Base	1.74E+4	1.38	0.33	1.238
UV-O <sub>3</sub>	9.11E+4	1.66	3.65	0.952

$$N_T = \left[ \frac{SS \log(e)}{kT/q} - 1 \right] \frac{C_i}{q}$$

위 식에서 K는 Boltzmann 상수, T는 절대 온도, C<sub>i</sub>는 게이트 절연체의 단위 면적당 커패시터의 용량, q는 전자의 전하량이다. 추출한 계면트랩 밀도는 Base는 1.684×10<sup>12</sup> cm<sup>-2</sup>로 기존의 SiN<sub>x</sub>와 같은 게이트 절연막으로 사용한 산화물 TFT에서 보고되고 값과 유사한 값을 가짐을 확인하였다 [11,12]. UV-O<sub>3</sub> 처리의 경우 기준에 비해 개선된 전기적 특성을 보이는데 정량적인 비교를 위해 두 소자의 주요 전기적 파라미터를 추출하여 Table 1에 정리하였다. UV-O<sub>3</sub> 처리한 경우 전계 효과 이동도는 0.33 cm<sup>2</sup>/Vs에서 3.65cm<sup>2</sup>/Vs로 크게 증가하였고 SS 또한 1.238 V/dec.에서 0.952 V/dec.로 감소하면서 계면 1.277×10<sup>12</sup>cm<sup>-2</sup>로 감소하였다. 일반적으로 금속 산화물 박막의 경우 산소 공공 (V<sub>O</sub>)이 증가할 경우 기증자 역할을 하여 캐리어가 증가한다. 따라서 V<sub>O</sub> 농도가 IV 전달 특성에 크게 영향을 주기 때문에 V<sub>O</sub> 농도 변화를 확인하기 위해 X-ray Photoelectron Spectroscopy (XPS) 분석을 진행하였다. Fig. 4는 O 1s의 XPS spectra이며 Pick 1은 530.0 ± 0.1 eV로 금속과 산소 (M-O)와의 결합을 나타내고 pick 2인 531.35±0.2 eV은 V<sub>O</sub> 을 나타낸다. 면적은 농도를

의미하며 M-O 결합에 대한 V<sub>O</sub> 의 농도를 Fig 5에 정량적으로 비교하였다. Base와 비교하였을 때 UV-O<sub>3</sub> 처리를 할 경우 V<sub>O</sub> 의 농도가 8% 증가하였다. UV-O<sub>3</sub> 처리 공정에서 사용한 185, 253nm 파장의 UV 에너지는 금속과 산소의 결합을 깰 수 있는데 박막 내 결합이 끊어진 산소가 반응성이 큰 오존에 의해 제거되면서 V<sub>O</sub> 이 증가된 것으로 판단된다 [13,14].

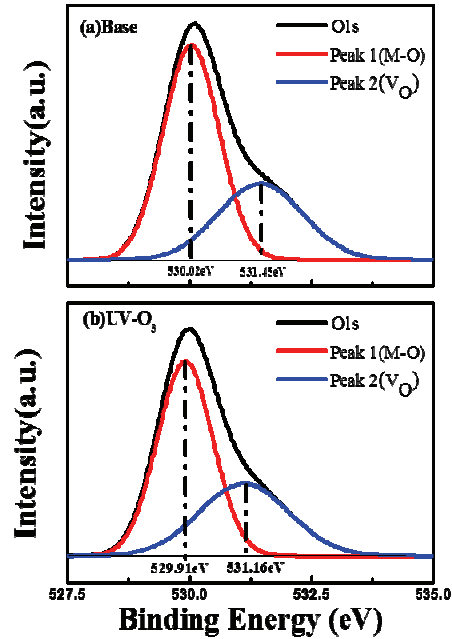


Fig. 4. XPS analysis results for the O1s peak in (a) Base and (b) UV-O<sub>3</sub> treatment device.

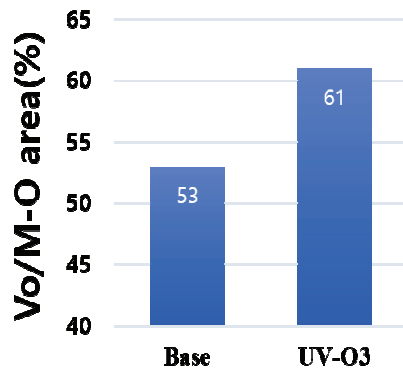


Fig. 5. Comparison of the atomic ratio of V<sub>O</sub> according to the experimental condition.

#### 4. 결 론

본 논문에서는 게이트 절연체로는 PVP를, 채널 박막으로 IZO를 사용하여 용액공정 기반의 TFT를 제작하였다. 또한 박막 형성 시 UV-O<sub>3</sub>를 처리하여 TFT의 전기적 특성을 개선하였다. PVP/IZO hybrid 계면에서 게이트 누설 전류 및 계면 트랩 밀도 측면에서 양호한 특성을 나타내었으며 특히 UV-O<sub>3</sub> 처리한 소자는 산소공공 농도가 증가하면서 전체적으로 전기적 특성이 되었다. 이러한 결과는 향후 최적화를 통해 전 용액공정 기반으로 고성능의 유연하고 투명한 TFT 제작이 가능함을 보여준다.

#### 감사의 글

이 연구는 충남대학교 학술연구비에 의해 지원되었음.

#### 참고문헌

- Liu, Z., Oh, J. H., Roberts, M. E., Wei, P., Paul, B. C., Okajima, M., Nishi, Y. and Bao, Z., "Solution-processed flexible organic transistors showing very-low subthreshold slope with a bilayer polymeric dielectric on plastic," *Appl. Phys. Lett.*, vol. 94, pp. 203301, 2009.
- Park, J. H., Jeong, J. K., Kim, Y. J., Jung, B. J. and Lee, G. W. "Electrical Characteristic Analysis of IGZO TFT with Poly (4-vinylphenol) Gate Insulator according to Annealing Temperature" *Journal of the Semiconductor & Display Technology*, vol. 16, No. 1, pp. 97-101, 2017.
- Kim, Y. H., Heo, J. S., Kim, T. H., Park, S., Yoon, M. H., Kim, J. W., Oh, M. S., Yi, G. R., Noh, Y. Y. and Park, S. K. "Flexible metal-oxide devices made by room-temperature photochemical activation of sol-gel films," *nature*, vol. 489, pp. 128-133, 2012
- Norton, D. P., "Synthesis and properties of epitaxial electronic oxide thin-film materials," *Mater. Sci. Eng. R-Rep.*, vol. 43, pp. 139-247, 2004.
- Kim, H. S., Kim, M. G., Ha, Y. G., Kanatzidis, M. G., Marks, T. J. and Facchetti, A. "Low-temperature solution-processed amorphous indium tin oxide field-effect transistors," *J. Am. Chem. Soc.*, vol. 131, pp. 10826-10827, 2009.
- Kamiya, T., Nomura, K. and Hosono, H. "Present status of amorphous In-Ga-Zn-O thin-film transistors," *Sci. Technol. Adv. Mater.*, vol. 11, pp. 1-23, 2009.
- Sun, Y. and Rogers, J. A. "Inorganic semiconductors for flexible electronics," *Adv. Mater.*, vol. 19, pp. 1897-1916, 2007.
- Jeong, S., Ha, Y. G., Moon, J., Facchetti, A. and Marks, T. J. (2010). "Role of gallium doping in dramatically lowering amorphous-oxide processing temperatures for solution-derived indium zinc oxide thin-film transistors," *Adv. Mater.*, vol. 22, pp. 1346-1350, 2010.
- Park, J. S., Jeong, J. K., Mo, Y. G., Kim, H. D. and Kim, S. I. "Improvements in the device characteristics of amorphous indium gallium zinc oxide thin-film transistors by Ar plasma treatment," *Appl. Phys. Lett.*, vol. 90, pp. 262106, 2007.
- Ji, K. H., Kim, J. I., Jung, H. Y., Park, S. Y., Choi, R., Kim, U. K., Hwang, C. S., Lee, D. S., Hwang, H. S. and Jeong, J. K. "Effect of high-pressure oxygen annealing on negative bias illumination stress-induced instability of InGaZnO thin film transistors," *Appl. Phys. Lett.*, vol. 98, pp. 103509, 2011.
- Jeong, J. K., Jeong, J. H., Yang, H. W., Park, J. S., Mo, Y. G. and Kim, H. D. "High performance thin film transistors with cosputtered amorphous indium gallium zinc oxide channel." *Appl. Phys. Lett.*, vol. 91, pp. 113505, 2007.
- Kim, D. N., Kim, D. L., Kim, G. H., Kim, S. J., Rim, Y. S., Jeong, W. H. and Kim, H. J. "The effect of La in InZnO systems for solution-processed amorphous oxide thin-film transistors." *Appl. Phys. Lett.*, vol. 97, pp. 192105, 2010.
- Tak, Y. J., Yoon, D. H., Yoon, S., Choi, U. H., Sabri, M. M., Ahn, B. D. and Kim, H. J. (2014). "Enhanced Electrical Characteristics and Stability Via Simultaneous Ultraviolet and Thermal Treatment of Passivated Amorphous In-Ga-Zn-O Thin-Film Transistors," *ACS Appl. Mater. Interfaces*, vol. 6, pp. 6399-6405, 2014.
- Liu, P., Chen, T. P., Li, X. D., Liu, Z., Wong, J. I., Liu, Y. and Leong, K. C. (2013). "Effect of exposure to ultraviolet-activated oxygen on the electrical characteristics of amorphous indium gallium zinc oxide thin film transistors," *ECS Solid State Lett.*, vol. 2, pp. Q21-Q24, 2013.

접수일: 2017년 6월 5일, 심사일: 2017년 6월 19일,  
 게재확정일: 2017년 6월 19일