

산화물반도체 박막트랜지스터 제작 및 전기적 특성 분석

이상렬^{1,a}

¹ 청주대학교 반도체공학과

Fabrication and Characterization of Oxide Thin Film Transistor

Sang Yeol Lee^{1,a}

¹ Department of Semiconductor Engineering, Cheongju University, Cheongju 360-764, Korea.

(Received March 13, 2013; Revised March 20, 2013; Accepted March 24, 2013)

Abstract: Thin-film transistors(TFTs) with silicon zinc tin oxide(SZTO) channel layer are fabricated by solution-process. The threshold voltage (V_{th}) shifted toward positive directly with increasing Si contents in SZTO system. Because the Si has a lower standard electrode potential (SEP) than Sn, Zn, thus degenerate the oxygen vacancy (VO). As a result, the Si act as carrier suppressor and oxygen binder in the SZTO as well as a V_{th} controller.

Keywords: Solution-process, Transistor, Threshold voltage shift, Oxide semiconductor

1. 서론

차세대 반도체 분야에서 산화물 박막 트랜지스터(thin film transistor, TFT)는 가장 뜨겁게 성장하고 있는 산업 분야일 것이다. 특히 투명 디스플레이나 플렉시블 디스플레이, 3D-디스플레이와 같은 차세대 디스플레이의 TFT로서 많은 주목을 받고 있다. 현재 디스플레이의 백플레인용으로 사용되는 비정질 실리콘 기반의 TFT가 대부분 사용되고 있다. 기존의 비정질 실리콘의 기술적 물리적인 한계와 좀더 향상된 디스플레이기술의 요구에 의해 높은 이동도를 요구하는 UD (ultra definition), 3D (3-dimensional) 디스플레이에는 화면을 구동시키기 위한 스위칭 소자로서 이동도에 제약이 있다. 산화물 반도체는 비정질이지만

높은 이동도를 가지고 있으며, 밴드갭이 커서 투명 특성을 가지고 있다. 그 중 아연 산화물 (ZnO) 기반 반도체박막 트랜지스터는 비정질 실리콘에 비해 높은 이동도를 가지며, 투명도, 소자안정성이 우수해 차세대 소자로서 각광을 받고 있다. 넓은 광학적 밴드갭 (>3.5 eV)을 가지고 있는 ZnO 기반 산화물은 높은 투과율을 가지고 있어 투명 디스플레이에 적용이 가능하며 이러한 특징들로 인해 IGZO, IZO, SIZO, HIZO와 같은 투명 산화물반도체가 TFT의 채널물질로써 많이 거론되고 있다. [1-5] 현재까지 많은 산화물 TFT가 CVD (chemical vapor deposition), RF 스퍼터 (radio frequency magnetron sputtering), 혹은 PLD (pulsed laser deposition) 등의 진공증착법에 의해 제작되어지고 있다. 이러한 진공 증착법은 진공을 만들기 위한 장비가 필요하여 가격이 비싸고 대면적을 제작하기에는 한계가 있다. 이러한 점을 극복하기 위해 간단하고, 낮은 제조비용과 대면적의 박막을 증착이 가능한 용액공정을 통한 산화물 박막 트랜지스터를 제작하였다 [7,8].

a. Corresponding author: sylee@cju.ac.kr

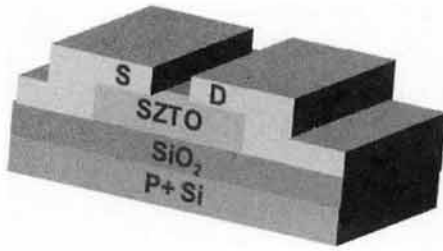


Fig. 1. Schematic illustrations of devices.

특히 다성분계 산화물 반도체 제작 시 용액 공법은 재료의 선택이 간단하며 각각의 조성비를 조절하는 것이 가능하다 [9].

본 연구에서는 용액공정을 이용하여 새로운 채널을 탐색하기 위해 실리콘(Si)을 고용한 SZTO 박막 트랜지스터를 제작 평가하였다. Si은 Zn나 Sn에 비해 낮은 SEP (standard electrode potential)를 가지고 있어 산소 공공 생성을 억제할 수 있어 소자의 안정성을 확보하기에 좋은 산소 공공 억제제 역할이 가능하다.

2. 실험 방법

본 연구에서는 전구체용액을 만들기 위해 출발원료로 0.5 M Zn [Zinc acetate dihydrate ($C_2H_3O_2$) $_2$ Zn · 2H₂O], Sn [Tin chloride (SnCl₄)], Si [Silicon tetraacetate (Si(OCOCH₃)₄)] 출발원료로 사용하였으며, 용매로서 2-methoxyethanol을 사용했다. 용해도를 높이기 위해 monoethanolamine을 첨가했다. 물 비는 Zn : Sn 1 : 1로 고정하고 Si의 비율만 0.01~1로 조정했다. 충분한 반응이 일어나게 하기 위해 제조된 용액을 75°C에서 12시간 동안 교반하였다. 이렇게 얻어진 최종 전구체 용액을 0.5 μm 필터를 장착한 주사기로 200 nm의 p-type SiO₂/Si 실리콘웨이퍼에 spin-coater를 이용하여 5,000 rpm에서 30초 간 코팅하였다. 트랜지스터의 구조는 bottom-gate structure를 선택하였으며 이를 그림 1에 도식화하였다. 코팅한 박막은 solvent와 유기용매를 날리기 위해 300°C에서 5분 간 baking하였다. 채널의 L/W는 250/50 μm 이고 채널의 두께는 35 nm이다. 결정도를 높이기 위해 500°C에서 annealing을 한 다음, 소스와 드레인 전극을 형성하기 위해 티타늄 (10 nm)과 골드(60 nm)를 각각 evaporator와 thermal 방식으로 증착하여,

lift-off 방법으로 전극을 형성하였다. 물질의 결정성을 알아보기 위해 XRD (X-ray diffraction)를 사용하였으며, 전기적 특성을 알아보기 위해 semiconductor parameter analyzer를 이용하여, 상온 상태에서 측정하였다.

3. 결과 및 고찰

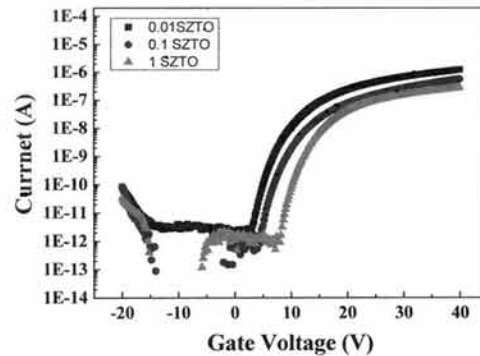


Fig. 2. Transfer characteristics of SZTO-based TFTs with variation of Si ratio.

Table 1. The electrical parameters of the SZTO solution processed TFTs as a function of the Si molar ratio.

| SZTO | I_{on}/I_{off} | μ_{FE} (cm ² /Vs) | SS (V/dec) | V_{th} (V) | V_{on} (V) |
|------|-------------------|-------------------------------------|---------------|--------------|-------------------|
| 0.01 | 9.2×10^6 | 0.295 | 0.81 | 6.5 | 1.2×10^6 |
| 0.1 | 1.7×10^6 | 0.118 | 1.41 | 9.5 | 5.7×10^7 |
| 1 | 5.6×10^5 | 0.044 | 1.90 | 11.0 | 2.8×10^7 |

제작된 소자의 Si의 함량이 0.1~1로 줄어들어 따른 문턱전압의 변화에 대해 연구하였다. 표 1은 Si의 비율에 따른 SZTO 트랜지스터의 전기적인 특성 변화를 나타낸 것이다. 이러한 전기적 특성은 포화영역에서 아래와 같은 식을 통하여 추출되었다.

$$I_D = \frac{WC_i}{2L} \mu (V_G - V_{th})^2$$

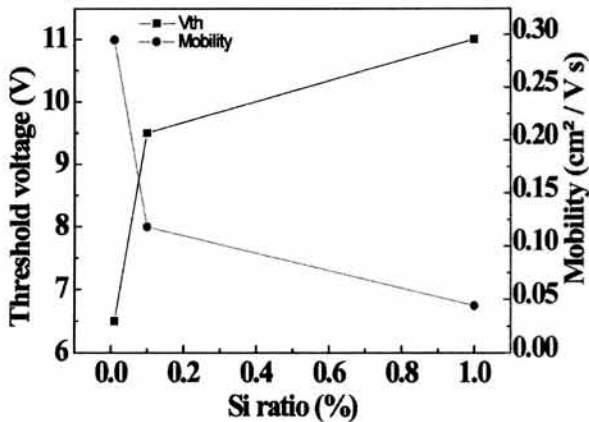


Fig. 3. The comparison of representative threshold voltage and mobility of SZTO TFTs with different Si ratio.

여기서 W 와 L 은 채널의 폭과 길이를 의미하며, I_D 는 드레인 전류를 의미한다. C_i 와 V_{th} 는 각각 캐패시턴스와 문턱전압을 나타낸다. Si은 Zn나 sn보다 낮은 SEP (standard electrode potential) 값을 가지고 있기 때문에 산소와의 결합력이 더 강하기 때문에 채널 내에 있는 산소공공의 생성을 억제시켜 on-current와 off-current가 낮아지는 현상을 확인할 수 있다. 또한 문턱전압 역시 positive 방향으로 shift하는 것을 확인할 수 있었다 [10]. 그림 2는 대표적인 박막 트랜지스터의 전기적 특성인 transfer curve를 5 V의 드레인 전압에서 Si의 비율별로 나타낸 것이다. Si양의 변화에 따라 on-current가 내려가는 것을 확인할 수 있고 이동도 또한 함께 감소하는 것을 확인할 수 있다. 그림 3에는 Si의 비율에 따른 SZTO TFT의 전기적 특성 변화값을 나타내었다. 즉 Si 양이 증가할수록 채널 내에 산소공공의 억제로 인한 자유전자의 감소로 인해 채널 이동도가 감소하는 것을 확인할 수 있다 [10].

4. 결론

산화물 반도체 박막트랜지스터를 대면적으로 적용하기 위해서는 용액공정이 유리한 이점을 가지고 있다. 본 연구에서는 solution 공정을 이용한 Si의 함량에 따른 ZTO 박막의 특성 변화를 관찰하였고, Si양

이 증가할수록 문턱전압이 positive로 shift하는 것을 확인할 수 있었다. Si의 낮은 SEP값으로 인해 산소와의 강한 결합으로 산소공공을 줄여 carrier suppressor로 작용하였기 때문에 on-current가 내려감으로써 이동도가 감소하는 것을 확인하였다. 이는 즉 우수한 특성의 박막트랜지스터를 구현하기 위해서는 적절한 Si의 비율을 선택하여 전기적 특성을 향상시키는 방향으로 연구 개발이 진행되어야 한다는 것을 의미한다.

감사의 글

이 논문 및 저서는 2011-2013학년도에 청주대학교 산업과학연구소가 지원한 학술연구조성비(특별연구과제)에 의해 연구되었음.

REFERENCES

- [1] B. D. Ahn, J. H. Kim, H. S. Kang, C. H. Lee, S. H. Oh, K. W. Kim, G. E. Jang, and S. Y. Lee, *Thin Solid Films*, 516, 1382 (2008).
- [2] S. Y. Lee, Y. W. Song, and S. P. Chang, *J. KIEEME*, 21, 3 (2008).
- [3] E. Fortunato, A. Pimentel, A. Goncalves, A. Marques, and R. Martins, *Thin Solid Films*, 502, 104 (2006).
- [4] S. Y. Lee, Y. W. Song, and S. P. Chang, *J. of IEEK* 35, 60 (2008).
- [5] Y. K. Moon, S. Lee, W. S. Kim, B. W. Kang, C. O. Jeong, D. H. Lee, and J. W. Park, *Appl. Phys. Lett.*, 95 (2010).
- [6] J. P. Chang, Y. S. Lin, S. Berger, A. Kepten, R. Bloom, and S. Levy, *J. Vac. Sci. Technol. B*, 19, 2137 (2001).
- [7] Y. J. Chang, D. H. Lee, G. S. Herman, and C. H. Chang, *Electrochem. Solid-State Lett.*, 10, H135 (2007).
- [8] E. Fortunato, A. pimentel, A. Goncalve, A. Marques, and R. Martins, *Thin Solid Film*, 502, 104 (2006).
- [9] G. H. Kim, W. H. Jeong, B. D. Ahn, H. S. Shin, H. J. Kim, H. J. Kim, M. K. Ryu, K. B. Park, J. B. Seon, and S. Y. Lee, *Appl. Phys. Lett.*, 96, 163506 (2010).
- [10] J. Y. Choi, S. S. Kim, and S. Y. Lee, *Appl. Phys. Lett.*, 100, 1 (2012).