

논문 2013-50-7-15

RF-magnetron sputtering을 이용한 TiIZO 기반의 산화물 반도체에 대한 연구

(Effect of Titanium Addition on Indium Zinc Oxide Thin Film Transistors by RF-magnetron Sputtering)

우 상 현*, 임 유 성**, 이 문 석***

(Sanghyun Woo, Yooseong Lim, and Moonsuk Yi[©])

요 약

본 연구에서는 TiInZnO(TiIZO)를 채널층으로 하는 thin film transistors(TFTs)를 제작하였다. TiIZO 층은 InZnO(IZO)와 Ti target을 이용하여 RF-magnetron co-sputtering system 방식으로 상온에서 증착하였으며, 어떠한 열처리도 하지 않았다. Ti의 첨가가 어떠한 영향을 주는지 연구하기 위해 X-ray diffraction(XRD), X-ray photoelectron spectroscopy(XPS) 분석을 시행하였으며, 전기적인 특성을 측정하였다. Ti의 첨가는 Ti target의 rf power 변화에 따라 달랐다. Ti의 첨가가 전류점멸비에 큰 영향을 주는 것을 확인하였고, 이것은 Ti의 산화력이 In과 Zn보다 뛰어나 산소결함자리의 형성을 억제하기 때문이다. Ti의 rf power가 40W일 때 가장 좋은 특성을 나타냈으며, 전류점멸비, 전자이동도, 문턱전압, subthreshold swing이 각각 10^5 , 2.09 [$\text{cm}^2/\text{V}\cdot\text{s}$], 2.2 [V], 0.492 [V/dec.]로 측정되었다.

Abstract

We fabricated thin film transistors (TFTs) using TiInZnO(TiIZO) thin films as active channel layer. The thin films of TiIZO were deposited at room temperature by RF-magnetron co-sputtering system from InZnO(IZO) and Ti targets. We examined the effects of titanium addition by X-ray diffraction, X-ray photoelectron spectroscopy and the electrical characteristics of the TFTs. The TiIZO TFTs were investigated according to the radio-frequency power applied to the Ti target. We found that the transistor on-off currents were greatly influenced by the composition of titanium addition, which suppressed the formation of oxygen vacancies, because of the stronger oxidation tendency of Ti relative to that of Zn or In. A optimized TiIZO TFT with rf power 40W of Ti target showed good performance with an on/off current ratio greater than 10^5 , a field-effect mobility of 2.09 [$\text{cm}^2/\text{V}\cdot\text{s}$], a threshold voltage of 2.2 [V] and a subthreshold swing of 0.492 [V/dec.].

Keywords : Oxide TFT, Ti, IZO, rf-magnetron sputtering, X-ray photoelectron spectroscopy(XPS)

I. 서 론

* 학생회원, 부산대학교 차세대전자기판회로학과
(Education program for samsung advanced integrated circuit, Pusan National University)

** 학생회원, *** 정회원 부산대학교 전자전기공학과
(Department of Electrical and Electronic Engineering, Pusan National University)

© Corresponding Author : (E-mail: msi@pusan.ac.kr)

※ 이 과제는 2011년도 부산대학교 교수국외장기파견 지원비에 의하여 연구되었음.

접수일자: 2013년12월24일, 수정완료일: 2013년6월24일

현재 상용화 되어있는 Si 기반 TFT 에 비해 높은 전자의 이동도, 가시영역에서의 투명성, 공정의 간소화 등 여러 가지 이점이 있는 산화물 반도체를 적용한 TFT 에 대한 연구가 활발히 이루어지고 있다.^[1~2] 그 중에서도 ZnO 나 IZO, IGZO가 가장 널리 연구되고 있으나, 최근 몇몇 연구그룹에서는 ZrInZnO, HfInZnO,

AlInZnO 등 가격이 비싼 Ga를 대체하기 위한 몇 가지 다른 metal materials를 연구하였다.^[3~6] 여기에 사용된 Zr, Hf, Al은 모두 high-k 물질로써 낮은 온도에서 증착되며, 높은 유전상수와 상대적으로 높은 밴드갭을 가지는 특성을 가진다. 이러한 특성들로 인해 일반적으로 얇은 두께에도 gate leakage current를 줄임과 동시에 같은 gate capacitance를 유지할 수 있어 ZrO₂, HfO₂와 같은 형태로 절연막에 많이 사용되어지나, 최근 들어 산화물 active layer를 가지는 TFT 들에 대한 관심이 커지면서 이 물질들을 active layer 에 적용하는 것에 대한 많은 연구가 이루어지고 있다. 이는 high-k 물질이 박막 속에서 carrier generation을 억제하는 역할을 하기 때문이다.^[7~8] 이것을 이용하여 최근 용액공정을 통해 IZO에 Ti를 첨가하여 전기적 특성 향상에 대한 논문도 있다.^[12, 20]

본 연구에서는 RF-magnetron sputtering 방식으로 active layer로서의 IZO 박막에 Ti를 첨가하여 TiIZO 박막을 제작하였다. Ti의 첨가량에 따른 구조적인 특성과 전기적인 특성을 연구해 보았으며, Ti의 첨가가 적절히 이루어졌을 때, 보다 높은 전자이동도와 전류점멸비, 문턱전압, subthreshold swing을 보였다.

II. 실험방법

본 실험을 위해 제작된 소자들은 공정의 간소화를 위하여 별도의 열처리를 가하지 않았으며, gate electrode를 제외한 모든 층을 shadow mask 만을 사용하여 RF-magnetron sputtering system 으로 증착하였다. 먼저, ITO(Indium Tin Oxide)가 코팅된 glass substrate에 면저항을 최소화하기 위해 일반적인 photo-lithography 공정을 통해 원하는 ITO gate electrode 패턴을 형성하였다. Insulator layer는 Si(99.99%, 2in)과 HfO₂(99.95%, 2in)를 co-sputtering 하였다. 이때 반응가스는 Ar : O₂ = 2 : 5 [sccm]투입하였고, RF power는 각각 100 [W]로 200 [nm]두께로 증착하였다. Active layer 역시 약 10 [nm]두께로 TiIZO를 co-sputtering 방식으로 증착하였다. 이때 사용된 target 은 InZnO(In₂O₃ : ZnO = 90 : 10wt%, 2in)와 Ti(99.99%, 2in)이며, Ti의 첨가가 어떠한 특성에 영향을 주는지 보기 위해 IZO target의 RF power는 50 [W]로 고정하고, Ti target의 RF power 만을 40 [W], 60 [W], 80 [W]로 변화를 주어 소자를 제작하였다. 이 때 반응가스의 비율은 Ar : O₂ = 20 : 0.84 [sccm]으로 고

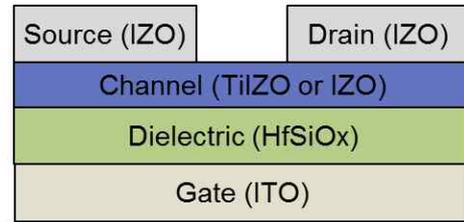


그림 1. 실험에 사용된 oxide-TFT의 구조
Fig. 1. Schematic of oxide-TFT structure used for experiments.

정하였다. Source and drain electrode의 경우 IZO target 만을 사용하였으며, RF power를 20 [W]로 150 [nm]두께로 증착하였다. 반응 가스는 20 [sccm]의 Ar 가스만을 사용하여 IZO 박막 내에 최대의 산소결함자리를 유발하여 전극으로서 역할을 하게 하였다. 모든 공정압력은 2×10^{-3} [torr]로 유지하였고, 초기압력은 3×10^{-6} [torr]이다.

제작 된 소자는 그림 1.에 나타내었으며, 제작된 TiIZO 박막을 XRD(X-ray Diffraction)분석을 통해 그 구조를 확인하였다. 소자를 제작 후에는 전기적 특성을 측정한 뒤, 그 결과를 XPS(X-ray photoelectron spectroscopy)를 통해 분석하였다.

III. 결과 및 토의

그림 2.는 각 박막의 XRD 분석을 통해 그 패턴들을 나타내었다. XRD 분석을 보면, 기관으로 사용한 a-quartz glass로 인해 생기는 Halo pattern(21도, 33도)만이 보일 뿐 특별한 peak 이 검출되지 않아 네 가지의 샘플박막 모두 amorphous structure를 가짐을 확인할 수 있다.^[9] amorphous IZO 경우 이미 그에 대한 특성과 공정조건에 대한 보고가 많이 알려져 있다. 하지만 Ti

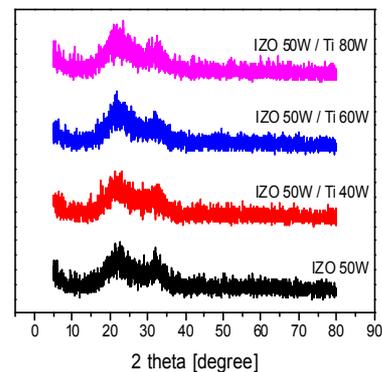


그림 2. 각 박막의 XRD 패턴
Fig. 2. XRD patterns of IZO and TiIZO films.

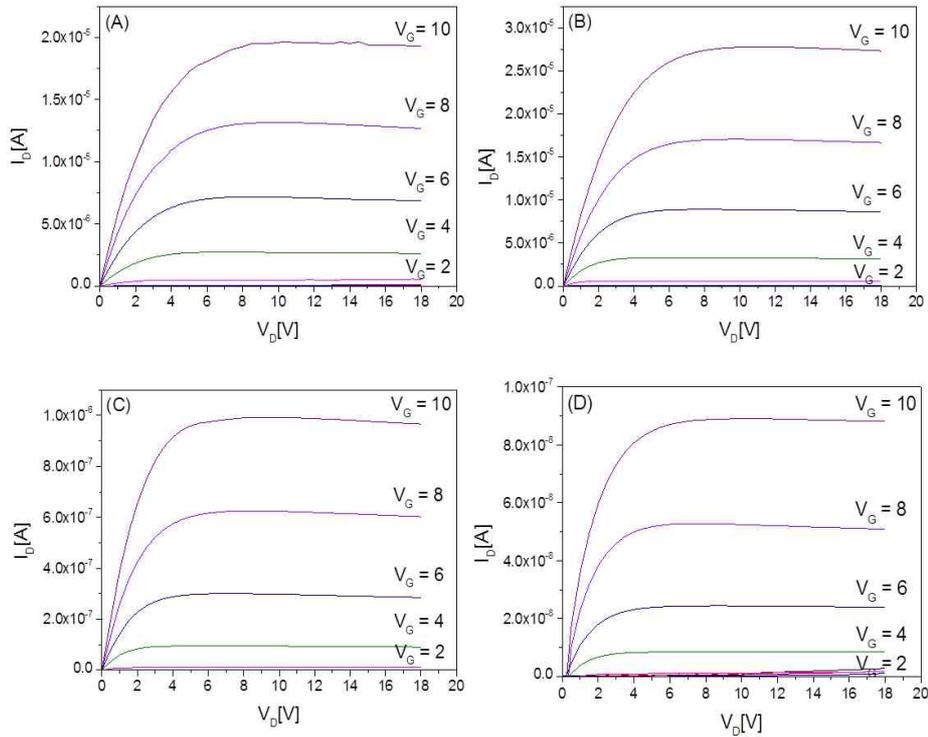


그림 3. I_D - V_{DS} 특성곡선 (A) IZO(50W) (B) TiIZO(40W) (C) TiIZO(60W) (D) TiIZO(80W) 기반의 TFTs
Fig. 3. Output characteristics of (A) IZO(50W), (B) TiIZO(40W), (C) TiIZO(60W) and (D) TiIZO(80W) based TFTs.

의 경우 본질적으로 전자친화력($Ti=1.54$)이 강하며, 산소와 반응시켰을 경우 TiO , TiO_2 , Ti_2O_3 의 화합물이 형성된다. 이들 중에 쉽게 형성이 되는 TiO_2 의 경우 anatase와 rutile 구조를 가지며, 이러한 결정 상태는 공정압력, 기판온도, 산소 분압 비, 인가전력에 영향을 많이 받으나 기판온도에 가장 큰 영향을 받는다.^[10]

결정성을 가지게 될 경우 grain boundary를 형성하게 되고 이것은 결국 TFT의 성능저하를 가져오게 된다.^[11] 본 실험에서는 별도의 열처리 공정이 없으며, 적절한 산소분압비와 인가전력 등으로 인해 TiIZO 박막이 결정을 가지지 못하고 비정질상태를 유지하였다.

그림 3.은 I_D - V_{DS} 출력 특성 그래프를 IZO, Ti의 target의 RF power에 따른 TiIZO를 각각 나타냈다. 모든 소자들이 positive bias(V_G)와 drain voltage(V_{DS})가 증가함에 따라 drain current가 급격히 증가함을 볼 수 있다. 또한 drain voltage를 18 [V]까지 증가시켜도 drain current가 안정적인 saturation을 보이며, pinch off 또한 모두 안정적인 것을 확인할 수 있다. 그림 4.는 각 소자들의 I_D - V_G 특성을 나타낸 것이다. gate voltage는 -15 [V]에서 25 [V]의 범위로 측정하였고, 이때 V_{DS} 는 I_D - V_{DS} curve에서 IZO, TiIZO(40W)와 TiIZO(60W),

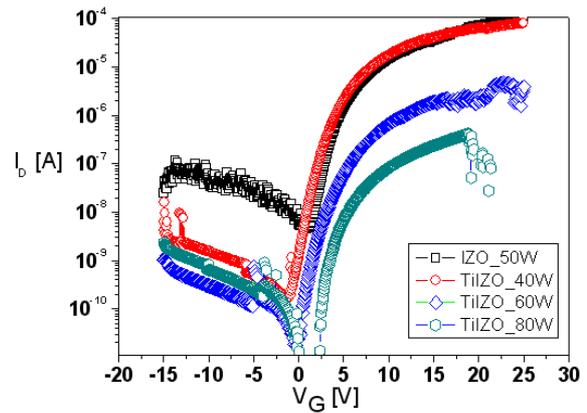


그림 4. I_D - V_G 특성곡선
Fig. 4. Transfer characteristics of IZO and TiIZO TFTs.

TiIZO(80W)가 saturation 이 되는 부분인 10 [V]에서 측정하였다. 각각의 전기적인 특성들을 측정하고 요약하여 표 1.에 나타내었다. IZO 박막에 Ti를 첨가할수록 상대적으로 on current가 낮아짐에도 불구하고 off current 또한 낮아짐으로써 current on/off ratio가 IZO 3×10^4 에서 TiIZO(40W) 5×10^5 까지 약 10배 이상 향상되었고, mobility는 IZO가 $1.1821 [cm^2/V \cdot s]$ 에서 TiIZO(80W)는 $0.0082 [cm^2/V \cdot s]$ 로 크게 줄어들었다. 또

표 1. IZO와 TiIZO TFT의 전기적 특성

Table 1. Electrical properties of IZO and TiIZO TFTs.

	mobility [cm ² /V·s]	on/off ratio	SS [V/dec.]	V _{th} [V]
IZO	1.812	3×10 ⁴	1.067	2.6
TiIZO(40W)	2.093	5×10 ⁵	0.492	2.2
TiIZO(60W)	0.073	3×10 ⁵	0.564	3
TiIZO(80W)	0.008	4×10 ⁴	0.195	8

표 2. Ti의 RF power에 따른 각 원소별 비율

Table 2. Elemental composition of TiIZO films at varying RF power on Ti target.

Name	IZO	TiIZO (40W)	TiIZO (60W)	TiIZO (80W)
	Atomic percent [%]			
O _{1s}	56.85	55.88	56.63	55.04
In _{3d}	37.74	39.38	37.95	39.15
Zn _{2p3}	5.41	4.43	4.59	4.83
Ti _{2p}	0	0.31	0.83	0.98
Ti/(O+Ti)×100	0	0.55	1.44	1.75

한, threshold voltage(V_{th})는 positive bias 방향으로 IZO 2.6 [V]에서 TiIZO(80W) 8 [V]로 크게 이동하였다. 이렇게 shift 되는 현상은 박막 내에 존재하는 산소결함자리가 Ti의 첨가로 그 형성이 억제되어 결과적으로 carrier concentration 이 감소했기 때문이다. 이를 뒷받침하기 위해 XPS 분석을 통해 각 원소별 atomic percent를 표 2.에 나타내었다.

표 2.에는 Ti의 RF power에 따른 O, In, Zn, Ti 네 가지 원소의 atomic percent를 나타내고 산소 대비 Ti가 차지하는 비율 또한 나타내었다. Ti의 RF power가 40 [W], 60 [W], 80 [W]로 증가함에 따라 atomic percent가 0.31 [%], 0.83 [%], 0.98 [%]로 증가함을 확인할 수 있다. 그림 5.에 나타낸 Ti_{2p}의 peak를 보아도 RF power가 증가함에 따라 intensity가 높아지는 경향을 보인다. 각각 비교를 해 보면 RF power 60 [W]와 80 [W]일 때는 대동소이하나 40 [W]일 때는 큰 차이를 보인다는 점이다. 이것은 co-sputtering system의 특성 때문에 생기는 영향이라 판단된다. RF power가 높을수록 증착률이 높아지는 경향을 가지는 것처럼 IZO target의 power가 50 [W]인 것에 비해 Ti target의 power가 40 [W]이므로 상대적으로 플라즈마 속의 반응기체인 Ar 이온과 O₂ 이온을 IZO에 비해 gettering 하지 못했기 때문이다. 이와 같은 결과로 표 2.의 Ti/(O+Ti)[%]의 비율을 보았을 때, TiIZO(40W)의 박막이 다른 것과 비교해 약 1% 적게 첨가됨으로써 off

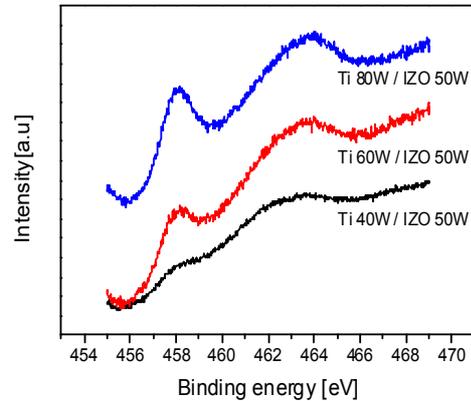


그림 5. RF power에 따른 Ti_{2p} peak
Fig. 5. Ti_{2p} peak on varying rf power.

current를 크게 낮추어주며, on current 또한 줄어들지 않는 결과를 가져오게 된다.^[20] 이를 상세히 분석하기 위해 산화물에서 전기적인 특성에 가장 큰 영향을 끼치는 산소결함자리의 peak를 그림 6.에 나타내었다.

O_{1s} peak의 경우 두 개의 gaussian peak로 형성이 된다. Low binding energy의 peak 은 In-O, Ti-O, Zn-O와 같이 In 이나 Ti 원자의 주변을 둘러싸고 있는 O²⁻ ions에 의해서 형성된다.^[12] 반면 High binding energy의 peak 경우 산소결함자리의 O²⁻ ions에 의해 형성된다. 이 O_H peak가 산소결함자리와 관련이 있는 peak 이다.^[13] 먼저 그림 6.의 (A)는 IZO 박막의 O_{1s} peak 이며, 529.83 eV와 531.46 eV에 main peak 이 위치한다. 앞서 언급한 것과 같이 529.83 eV에 위치한 O_L peak 이 In, Zn, Ti 원자주변의 O²⁻ ions에 의해 형성된다. 531.46 eV의 O_H peak는 산소결함자리의 O²⁻ ions에 의해 형성된다. (B)는 TiIZO(40W)일 때의 O_{1s} peak이며, 특이하게도 4개의 peak이 검출되었다. O_{H3}의 경우 main peak이 533.45 eV의 binding energy에 위치하며, 이는 chemisorbed oxygen ions 때문에 형성된다.^[14] O_{H1}과 O_{H2}는 main peak 이 각각 530.7 eV, 531.95 eV에 위치하며 O_{1s} peak 내의 atomic percent가 각각 22.15[%], 23.34[%]이다. 앞서 언급한 co-sputtering system의 영향으로 형성된 Ti_{2p} peak을 고려해 볼 때, O_{H1}의 peak는 TiO의 형성에 의한 것 이며^[15-7], O_{H2}의 경우 산소결함자리에서 기인되는 것으로 판단된다. (C)는 TiIZO(60W), (D)는 TiIZO(80W)의 O_{1s} peak를 각각 나타내었다. 그러므로 O_{1s}의 peak에서 O_H의 peak는 박막 내의 산소의 결함자리가 얼마나 분포하고 있는지를 반영한다.

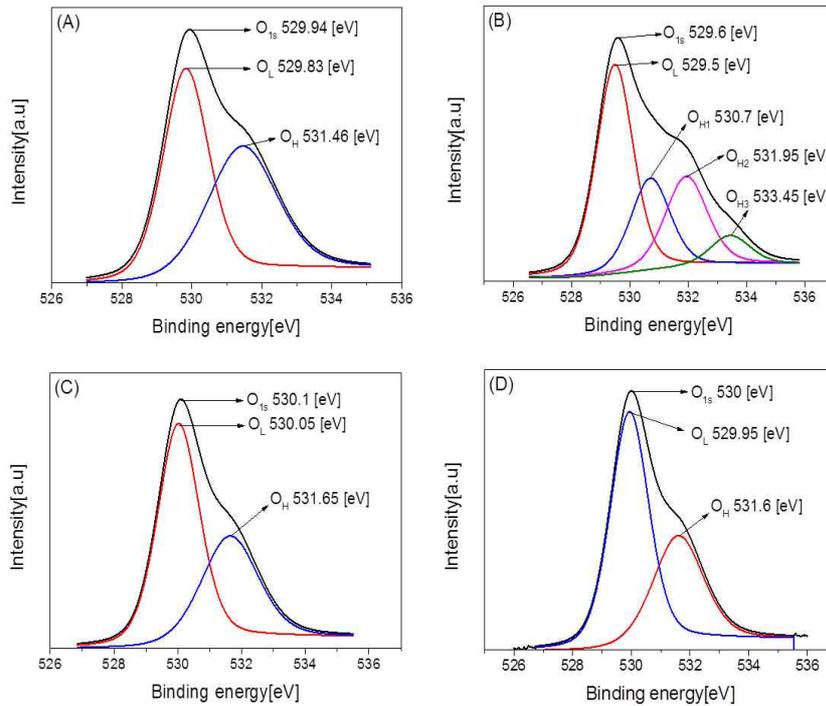


그림 6. 각 박막의 XPS O_{1s} peak 분석 (A) IZO (B) TiZO(40W) (C) TiZO(60W) (D) TiZO(80W)
Fig. 6. O_{1s} XPS spectra of the (A) IZO (B) TiZO(40W) (C) TiZO(60W) (D) TiZO(80W) thin films.

표 3. Ti의 RF power에 따른 O_L/O_{1s} 와 O_H/O_{1s} Areal ratio
Table 3. O_L/O_{1s} and O_H/O_{1s} Areal ratio on varying RF power of Ti target.

Name	Areal ratio [%]	
	O_L/O_{1s}	O_H/O_{1s}
IZO	53.91	47.09
TiZO(40W)	22.15	$O_{H1}(22.2)$ $O_{H2}(23.3)$
TiZO(60W)	61.61	38.39
TiZO(80W)	63.24	36.76

표 3.에 Ti 첨가에 따른 O_L/O_{1s} 와 O_H/O_{1s} Areal ratio를 나타내었다. IZO의 O_H/O_{1s} Areal ratio percent는 47.09 [%]로 나타났으며, TiZO(60W)와 TiZO(80W)일 때는 각각 38.39 [%], 36.7 [%]로 Ti가 첨가 될수록 그 비율이 점차 감소하는 것을 확인할 수 있다. 이는 박막 내의 산소결함자리 형성이 억제됨으로써 carrier concentration이 감소한 결과이며, 각 소자들의 전기적 특성의 결과와도 일치한다. 하지만 TiZO(40W)일 때는 O_{H1}/O_{1s} 와 O_{H2}/O_{1s} 의 Areal ratio percent가 22.15 [%], 23.34 [%]로 각각 나타났으며, 전기적인 특성과 비교해

볼 때, on current가 소폭 증가함과 동시에 off current가 감소하며, SS 특성이 향상 된 것으로 미루어보아 O_{H1} 의 peak가 산소결함자리 형성을 비롯하여, 박막내의 trap을 줄여 준 역할을 하였다.^[18] 이는 다른 소자들에 비해 Ti의 atomic percent가 0.31 [%]로 비교적 적게 첨가되어 TiO를 형성하게 되고, 이것이 전체적인 산소결함자리를 증가시킨 것이다. 또한 한편으로는 TiZO(60W)와 TiZO(80W)의 결과와 마찬가지로 산소와의 결합을 통해 박막 내의 trap density를 어느 정도 줄여 주었다.

TiZO(60W)와 TiZO(80W)의 경우 박막속의 Ti^{4+} 양이온의 흡착으로 인해 산소결함자리 형성을 억제하며, 박막 내에 이동하는 자유전자들을 쉽게 잡아줌으로써 on current와 off current를 감소하게 하였다.^[19]

IV. 결 론

RF-reactive magnetron sputter system을 사용하여 IZO와 Ti를 co-sputtering 하여 박막을 제작하고 전기적인 특성을 측정, XRD, XPS 분석을 실시하였다. 이

때 Ti의 첨가가 전기적으로 어떤 영향을 끼치는지 보기 위해 IZO의 RF power는 50 [W]로 고정하고, Ti의 RF power 만을 40 [W], 60 [W], 80 [W]로 변화를 주었다. 공정의 간소화를 위해 gate electrode를 제외한 모든 공정을 상온에서 RF-reactive magnetron sputter system과 shadow mask 만을 이용하여 소자를 제작하고 별도의 열처리는 하지 않았다.

RF power가 높아질수록 Ti의 첨가량이 늘어감에 따라 on/off current ratio가 IZO 3×10^4 에서 TiIZO(40W) 5×10^5 까지 약 10배 이상 커졌고, mobility는 IZO $1.1821 \text{ [cm}^2/\text{V}\cdot\text{s]}$ 에서 TiIZO(80W) $0.0082 \text{ [cm}^2/\text{V}\cdot\text{s]}$ 로 현저히 줄어들었다. 또한 threshold voltage는 positive bias 방향으로 크게 이동하였다. 이러한 특성의 변화들은 TiIZO 박막 내에 존재하는 Ti^{4+} 양이온으로 인해 산소결함자리 형성을 억제하며, 이동하는 자유전자들을 쉽게 잡아줌으로써 carrier concentration에 변화를 주어 on current와 off current를 감소하게 하였다. TiIZO (40W)일 때 on/off current ratio가 5×10^5 , SS 값이 0.492 [V/dec.] , V_{th} 2.2 [V] 등으로 그 어떤 소자보다도 특성이 눈에 띄게 향상 되었다. TiIZO(40W)의 경우 XPS 분석을 통해 TiO 형성으로 인한 O_{HI} 의 peak이 검출되었으며, $\text{O}_{HI}/\text{O}_{IS}$ 와 $\text{O}_{HI}/\text{O}_{IS}$ 의 Areal ratio percent를 고려해 볼 때, O_{HI} 의 peak가 산소결함자리 형성을 비롯하여, 박막 내의 trap을 줄여 준 역할을 하였다.

REFERENCES

- [1] B. D. Ahn, J. H. Kim, H. S. Kang, C. H. Lee, S. H. Oh, K. W. Kim, G. Jang, and S. Y. Lee, "Thermally stable, highly conductive, and transparent Ga-doped ZnO thin films", *Thin Solid Films*, vol. 516, no. 7, pp. 138-1385, 2007.
- [2] R. L. Hoffman, B. J. Norris, and J. F. Wager, "ZnO-based transparent thin-film transistors," *Appl. Phys. Lett*, vol. 82, no. 5, pp. 733-735, 2003.
- [3] J. S. Park, K. S. Kim, Y. G. Park, Y. G. Mo, H. D. Kim, and J. K. Jeong, "Novel ZrInZnO Thin-film Transistor with Excellent Stability", *Adv. Mater.* vol. 21, issue. 3, pp. 329, 2009.
- [4] D. H. Son, D. H. Kim, J. H. Kim, S. J. Sung, E. A. Jung and J. K. Kang, "Low Voltage, High Performance Thin Film Transistor with HfInZnO Channel and HfO₂ Gate Dielectric", *Solid-State Letters*. vol. 13 pp. H274, 2010.
- [5] H. S. Kim, K. B. Park, K. S. Son, J. S. Park, W. J. Maeng, T. S. Kim, K. H. Lee, E. S. Kim, J. Lee, J. Suh, J. B. Seon, M. K. Ryu, S. Y. Lee, K. Lee and S. Im, "The influence of sputtering power and O₂/Ar flow ratio on the performance and stability of Hf-In-Zn-O thin film transistors under illumination", *Appl. Phys. Lett.*, vol. 97, pp. 102103, 2010.
- [6] D. H. Cho, S. Yang, C. Byun, J. Shin, M. K. Ryu, S. H. K. Park, C. S. Hwang, S. M. Chung, W. S. Cheong, S. M. Yoon and H. Y. Chu, "Transparent Al-Zn-Sn-O thin film transistors prepared at low temperature", *Appl. Phys. Lett.* vol. 93, pp. 142111, 2008.
- [7] J. C. Do, C. H. Ahn, H. K. Cho and H. S. Lee, "Effect of Ti addition on the characteristics of titanium-zinc-tin-oxide thin-film transistors fabricated via a solution process", *J. Appl. Phys.* vol. 45, pp. 22103, 2012.
- [8] W. H. Jeong, G. H. Kim, D. L. Kim, H. S. Shin, H. J. Kim and M. K. Ryu, "Effect of Hf incorporation in solution-processed Hf-InZnO TFTs", *Thin Solid Films*, vol. 519, pp. 740-5743, 2011.
- [9] Y Li, X Hu, Z Liu and J Ren, "Power and gas pressure effects on properties of a-IGZO films by magnetron sputtering", *J. Mater. Sci.* pp. 408-412, 2012.
- [10] M. H. Suhail, G. M. Rao and S. Mohan, "dc reactive magnetron sputtering of titanium structure and optical characterization of TiO₂ films". *J. Appl. Phys.* vol. 71, pp. 1421, 1992.
- [11] J. I. Song et. al, "Transparent amorphous indium zinc oxide thin-film transistors fabricated at room temperature", *Appl. Phys. Lett.* vol. 90, pp. 022106, 2007.
- [12] H. Y. Chong, K. W. Han, Y. S. No and T. W. Kim, "Effect of the Ti molar ratio on the electrical characteristics of titanium-indium-zinc-oxide thin-film transistors fabricated by using a solution process", *Appl. Phys. Lett.* vol. 99, pp. 161908, 2011.
- [13] S. J. Seo, Y. H. Hwang and B. S. Bae, "Post-annealing process for low temperature processed sol-gel zinc tin oxide thin film transistors", *Electrochem. Solid-State Lett.* vol. 13, pp. H357, 2010.
- [14] M. N. Islam, T. B. Ghosh, K. L. Chopra and H. N. Acharya, "XPS and X-ray diffraction studies of aluminum-doped zinc oxide transparent conduction films", *Thin Solid Films*, vol. 280, pp. 20, 1996.
- [15] C. D. Wagner, W. M. Riggs, L. E. Davis, J. F.

- Moulder and G. E. Muilenberg, "Handbook of X-ray Photoelectron Spectroscopy", Perkin-Elmer Corporation, Eden Prarie, NM, pp. 68, 1979.
- [16] A. Rahmel et la., "Thermodynamic Aspects of TiAl and TiSi₂ Oxidation : The Al-Ti-O and Si-Ti-O Phase Diagrams", Oxidation of Metals, vol. 35, Nos. 1/2, 1991.
- [17] K. HAMRIN et la., "Charge transfer in transition metal carbides and related compounds studied by esca", J. Phys. Chem. Solids, Vol. 30. pp. 1835-1847, 1969.
- [18] J. L. Chung, J. C. Chen and C. J. Tseng, "The influence of titanium on the properties of zinc oxide films deposited by radio frequency magnetron sputtering", Appl. Surf. Sci. vol. 254, pp. 2615-2620, 2008.
- [19] J. C. Do, C. H. Ahn, H. K. Cho and H. S. Lee, "Effect of Ti addition on the characteristics of titanium-zinc-tin-oxide thin-film transistors fabricated via a solution process", J. Phys. D: Appl. Phys. vol. 45, pp. 225103, 2012.
- [20] J. H. Kim, D. H. Son et al, "Effects of Ti addition on sol-gel derived InO and InZnO thin film transistors", Current. Appl. Phys. 12 2012 e24 - e28.

— 저 자 소 개 —



우 상 현(학생회원)
2011년 부경대학교 전기공학과
학사 졸업.
2013년 부산대학교 차세대전자기
관회로학과 석사 졸업.
<주관심분야 : Oxide TFT, 반도체
공정>



임 유 성(학생회원)
2012년 부산대학교 전자전기공학
부 학사 졸업.
2013년 부산대학교 전자전기공학
부 석사 재학 중.
<주관심분야 : Oxide TFT,
Insulator, High-K>



이 문 석(정회원)
1991년 포항공과대학교 전자전기
공학과 학사 졸업.
1995년 포항공과대학교 전자전기
공학과 석사 졸업.
1999년 포항공과대학교 전자전기
공학과 박사졸업.

1999년 7월~2002년10월 미국 LBNL. Post Doc.
/Staff Scientist
2002년12월~2004년8월 삼성전자 반도체총괄
책임연구원
2004년 9월~현재 부산대학교 전자전기공학부
부교수.
<주관심분야 : 반도체 소자, 공정, Oxide TFT>