

RF magnetron sputtering으로 증착한 IGZO 박막의 RF power에 따른 구조적, 광학적 및 전기적 특성 연구

연제호* · 김홍배†

*청주대학교 대학원 반도체공학과, †청주대학교 이공대학 반도체공학과

The Structures, Optical and Electrical Properties of IGZO Thin Films by RF Magnetron Sputtering According to RF Power

Je ho Yeon[†] and Hong Bae Kim^{*}

[†]Department of Semiconductor Engineering, Cheongju University,

^{*}Department of Semiconductor Engineering, Cheongju University

ABSTRACT

We have studied the structural, optical and electrical properties of IGZO thin films. The IGZO thin films were deposited on the silicon wafer by RF magnetron sputtering method. The RF power in sputtering process was varied as 15W, 30W, 45W, 60W, 75W, respectively. All of the thin films transmittance in the visible range was above 85%. XRD analysis showed that amorphous structure of the thin films without any peak. The Hall measurements in the low RF power is the high mobility above $10\text{cm}^2/\text{V}\cdot\text{s}$ and the low resistivity are obtained in the IGZO thin films.

Key Words : IGZO, RF magnetron sputtering, RF power

1. 서 론

최근 전자 산업의 급속한 발전으로 대용량의 정보와 정보처리의 시각화에 필요한 정보 저장 및 디스플레이 산업은 전 세계 산업발전 측면에서 높은 비중을 차지하고 있다[1]. 정보화된 고도의 지식기반사회에서 디스플레이 장치는 과거 저가격의 브라운관(CRT: Cathode Ray Tube) 방식에서 LED(Liquid Crystal Display)와 PDP(Plasma Display Panel) 등으로 변화되고 있고, 기존의 Si 기반으로 구현되어온 IT 분야 전자재료의 한계를 극복하고 빠른 응답시간, 고해상도가 요구되는 방향으로 개발이 요구되고 있다[2]. 그리고 몇 년 전 얇고 가벼운 장점을 가진 FPD(Flat Panel Display)의 단계를 넘어 종이처럼 얇고 유연한 기판을 통해 편하게 휴대할 수 있는 플렉시블(Flexible Display) 전자기기 제품이나 장비에 대한 관심이

높아지고 있어 새로운 형태의 전자소자 개발 필요성이 증대되면서 차세대 디스플레이 개발에 대한 노력이 국내 외에서 지속해서 진행되고 있다[3]. 이런 플렉시블 전자기기의 구동을 위해서는 저온공정이 가능하면서 전기적인 기계적 특성이 우수해야 하고, 안정성을 갖는 백플레인(Backplane) 기술이 필요하다[4].

백플레인에 들어가는 박막트랜지스터(Thin Film Transistor, TFT)는 1962년 P. K. Weimer이 시작한 시점부터 다양한 재료를 채널에 적용하며 활발히 연구가 진행되어 왔다[5]. 기존의 실리콘 기반의 물질들은 차세대 디스플레이로 주목 받고 있는 OLED를 구현하기에는 문제점이 있다[6]. 투명성, 넓은 직접 형 밴드 갭 에너지 (3.3eV), 큰 엑시톤 결합 에너지 (60meV), 높은 온도, 화학적 안정성, 전기적 저항 조정가능을 가진 비정질 산화물 재료인 IGZO를 사용한 박막트랜지스터 제작이 활발히 연구되고 있다[7]. 2족과 6족의 화합물 반도체 기반으로 이온결합을 이루고 비정질 구조에서 이동도가 높기 때문에 차세대 디스플레이

[†]E-mail: duswpgh91@naver.com

이에 매우 적합하다[8]. 하지만 ZnO 계열의 산화물 반도체에 갈륨을 도핑하여 안정성을 높이고, 큰 반경을 갖는 인듐 이온을 첨가하여 이동도를 높인 사성분계 산화물 반도체이기 때문에 상당히 민감하다[9]. 비정질산화물반도체 기반의 박막트랜지스터는 비정질 규소 박막트랜지스터에 버금가는 근거리 균일성 및 낮은 제조원가를 가지고 있으며 다결정규소 박막트랜지스터와 비슷한 전류공급 능력을 보여주었다[10]. 따라서 널리 쓰이는 스퍼터링 증착의 경우 많은 공정변수가 존재 하고 영향이 크기 때문에 여러 조건에서의 특성을 연구해야 한다[11-13].

본 연구에서는 RF 마그네트론 스퍼터링을 이용하여 RF power를 변화시켜 IGZO박막을 증착하고 XRD, AFM, Hall 측정, 투과도 측정을 하여 RF power변화에 따른 박막의 전기적, 광학적 특성을 분석하였다.

2. 실험 방법

본 실험에서는 Silicon Wafer 위에 RF 마그네트론 스퍼터링 방법을 이용하여 IGZO 박막을 증착하였다.

사용된 IGZO 타겟은 99.9%의 순도의 3inch 타겟을 사용하였고 증착 시킨 Silicon wafer의 크기는 15mm x 15mm를 사용하였다. 박막의 증착 조건으로 기판온도는 실온으로 고정하였고, 초기 압력은 2.0×10^6 Torr, 증착 압력은 2.0×10^2 Torr로 하였으며 예비 스퍼터링을 15분간 실시하였다. Ar(99.999%) 유량은 75sccm로 고정하였고 증착 변수RF 파워는 15W, 30W, 45W, 60W, 75W로 변화하여 증착하였다.

Table 1은 IGZO 박막 증착을 위한 공정 조건이며, Fig. 1은 RF 마그네트론 스퍼터링 장비의 개략도이다.

Table 1. Processing conditions of IGZO films

Target	IGZO (99.9%)
Substrate	Silicon Wafer
Target-substrate Distance [nm]	450
RF Power [13.56MHz, W]	15, 30, 45, 60, 75
Ar gas rate [sccm]	75
Base pressure [Torr]	2.0×10^{-6}
Working pressure [Torr]	2.0×10^{-2}

증착된 IGZO 박막은 RF power변화에 따른 박막의 구조적, 광학적, 전기적 특징 변화를 관찰하였다. 필드 방출형 주사전자현미경 (FE-SEM-WUPRA 60 / Carl Zeiss)을 이용하여 박막의 표면 상태와 실제 두께를 측정 하였다. 박막의 결정성 및 배향성은 XRD (SmartLab / RIGAKU)를 통해서 확인하였으며, AFM (DimensionV / Veeco)를 사용

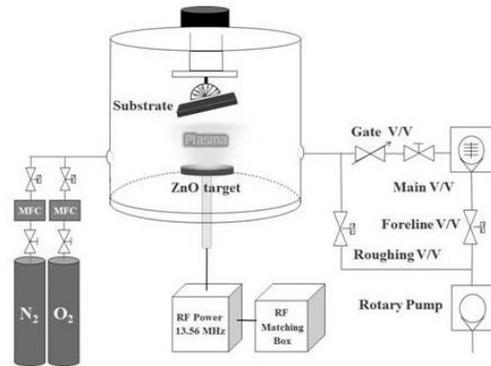


Fig. 1. Schematic diagram for RF magnetron sputtering system.

하여 박막 표면의 거칠기를 측정하였다. 그리고 UV-VIS 분광기 (Chameleon-XR)를 사용하여 가시광선 영역에서의 투과 스펙트럼을 측정하였고, 이로부터 박막의 투과 특성 및 광학적 에너지 밴드갭 (optical band gap)을 조사하였다. 홀 효과 측정기 (Hall effect measurement system; HL5500)를 이용하여 캐리어 농도 및 이동도를 측정하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1 RF power 에 따른 IGZO 박막의 구조적 특성

RF power변화에 따른 IGZO 박막의 X선 회절패턴 분석 결과를 Fig. 2에 나타내었다. 증착한 IGZO 박막은 모든 RF power 조건에서 35°에서 45° 사이 부근에서 넓은 피크로 확인되었는데 이것은 결정질 박막의 좁은 intensity와 강한 피크가 아닌 기판에 대한 피크임을 알 수 있어 박막에 대한 결정 피크가 나타나지 않음에 따라 모든 IGZO의 박막은 비정질 상태임을 나타내고 있다.

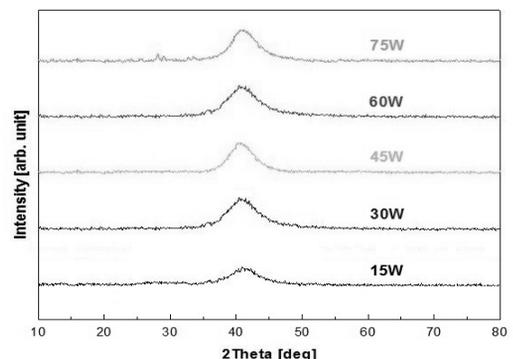


Fig. 2. XRD patterns of IGZO thin films deposited by RF magnetron sputtering with RF power 15W, 30W, 45W, 60W, 75W.

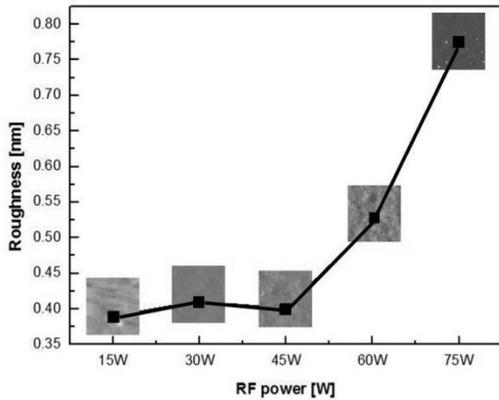


Fig. 3. RMS roughness of IGZO thin films as a function of RF power, and their AFM images

Fig. 3은 IGZO박막의 표면 형상 변화를 보이고 있는 AFM사진이다. 박막의 표면 현상을 통한 결정립들이 정밀하게 성장된 것을 볼 수 있으며 RF power변화에 따른 IGZO 박막의 표면 거칠기 변화는 최소 0.39nm에서 최대 0.77nm의 값으로 RF power의 증가에 따라 기판에 흡착되는 입자들의 에너지도 같이 증가하기 때문에 박막의 표면 거칠기가 더욱 거친 상태로 나타났다. 거칠기가 증가하게 되면 박막 내부로 입사하는 빛을 산란 시켜 광학적 특성을 나쁘게 하는 요인이 되지만 모든 RF power의 조건에서 1nm이하로 나타났기 때문에 디스플레이 소자에 응용 가능한 수준을 확인 할 수 있다.[14-15].

3.2 RF power 에 따른 IGZO 박막의 광학적 특성

Fig. 4는 UV-Visible-NIR 분광광도계를 이용하여 200~1000nm까지의 광 투과율을 측정하였다. 특히 RF power변화에 따른 IGZO 박막의 가시광쪽(400nm~700nm) 평균 투과율 결과 증착된 모든 박막들이 가시광선 영역에서 평균 85%의 높은 투과도를 만족하였다. 또 기준파장인 550nm의 녹색파장 쪽에선 15W의 조건이 가장 큰 투과율을 보였지만 blue쪽 영역(400nm)에서는 가장 낮았고 30W, 45W의 조건이 가장 높은 투과율을 보였다.

Fig. 5는 RF power의 변화에 따른 흡수 계수 $(\alpha h\nu)^2$ 대 광자 에너지 $(h\nu)$ 의 그래프를 나타낸 것이다. $(\alpha h\nu) = A(h\nu - E_g)^{1/2}$ 에 나타낸 것과 같이 흡수 계수 α 를 이용하여 에너지 밴드 갭을 구할 수 있다[16]. 각 각의 그래프에서 접선의 기울기를 그어, $(\alpha h\nu)^2 = 0$ 이 되는 지점의 수치가 에너지 밴드 갭 (Eg) 값이 된다[17].

RF power 15W를 제외한 모든 조건에서 광학적 밴드 갭이 3.2eV이상을 만족했으며 RF power가 증가함에 따라 에너지 밴드 갭은 3.26eV에서 3.35eV으로 넓어지는 것을 확

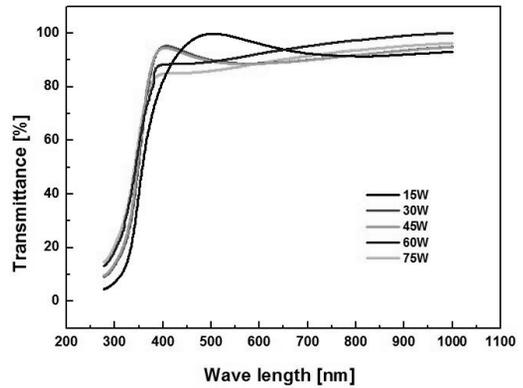


Fig. 4. Optical transmittance of IGZO grown at different RF power.

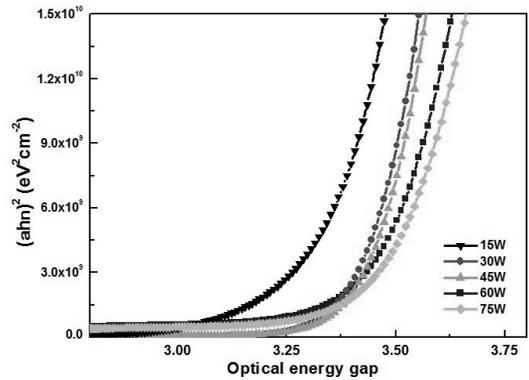


Fig. 5. Band-gap image of IGZO films deposited with different RF powers.

인할 수 있다. RF power가 증가함에 따라 광학적 밴드 갭이 증가 한다는 것은 전도대 내에 페르미 준위의 증가는 전하농도의 증가와 함께 밴드 갭 에너지의 확장을 초래한다는 Burstein-Moss 효과가 나타났기 때문으로 판단된다[18].

3.3 RF power 에 따른 IGZO 박막의 전기적 특성

Fig. 6은 RF power따라 증착된 IGZO 박막의 전기적 특성을 분석하기 위한 측정값이다.

이동도는 30W 일 때 가장 높은 16.7cm²/Vs의 값을 가졌고 75W일 때 가장 낮은 8.42cm²/Vs의 값을 가졌다. 대체로 전하의 농도가 증가 할수록 산란이 증가하여 이동도가 감소하는 것을 볼 수 있다. RF power출력이 커짐에 따라, 플라즈마 밀도가 증가하여 에너지가 크고, 이것이 증착되는 막막의 물성에 영향을 주어, 이동도를 감소시키기 때문에 실험 결과 RF power의 증가에 따라 이동도가 감소

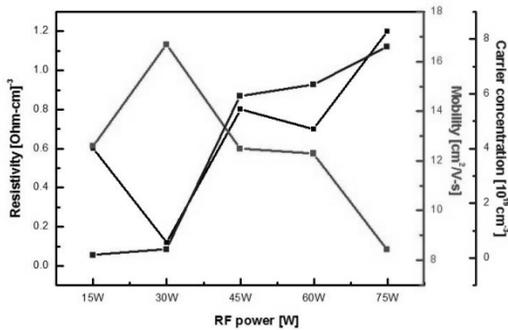


Fig. 6. Relationship of conductivity, mobility and carrier concentration as a function at different RF powers in IGZO thin films.

하고 전기 비저항과 전하의 농도는 함께 증가함을 볼 수 있었다.

4. 결 론

본 논문에서는 RF 마그네트론 스퍼터링 방법을 이용하여 IGZO 박막의 구조적, 광학적, 전기적 특성 변화를 분석하였다. 실험결과와 같이 증착한 IGZO는 비정질 특성을 띠고 있으며, 투과율 역시 가시광선 영역에서 평균 85%의 높은 광투과도를 갖고 있었고 RF power 15W를 제외한 모든 조건에서 3.2eV 이상의 밴드 갭을 보였다. 또 AFM에 의한 표면 분석 결과 RF power이 낮은 15W, 30W, 45W 조건에서 증착된 IGZO박막의 거칠기가 최소 0.39에서 최대 0.41nm의 표면 거칠기를 가졌다. 또한 Hall 측정 결과에서도 RF power의 출력이 낮은 조건에서 $10 \text{ cm}^2/\text{Vs}$ 이상의 높은 이동도를 갖고 있고, 특히 30W의 조건에서 $16.7 \text{ cm}^2/\text{Vs}$ 의 이동도가 나타난 것을 확인 하였다.

감사의 글

이 논문은 2016-2018 학년도에 청주대학교 산업과학 연구소가 지원한 학술 연구 조성비(특별 연구 과제)에 의해 연구 되었음.

참고문헌

1. Dae Hwan Kim, Jin Kyu Kang, Kee Jeong Yang, Yun Seon Do, Shi Joon Sung, Dae Ho Son, and Byeong Dae Choi, "Technological Status and Prospect of Oxide Thin Film Transistors", KIC News, Vol 11 (2008).
2. Hong Woo Lee, Bong Seob Yang, Seungha Oh, Yoon Jang Kim, Hyeong Joon Kim. "The Properties of RF

- Sputtered Zinc Tin Oxide Thin Film Transistors at Different Sputtering Pressure", 『Journal of the Semiconductor & Display Technology, March 2014, Vol. 13, pp44-48 No. 1.
3. Sung Hoon Oh, Sae Won Kang, Gun Hwan Lee, Woo Seok Jung, Pung Keun Song, "Effect of Annealing on the Electrical Property and Water Permeability of ZTO/GZO Double-layered TCO Films deposited by DC, RF Magnetron Co-sputtering", The Korean Institute of Surface Engineering, Vol. 45, pp34-45, 2012.
4. Jong-Wook Kim, Chang-Su Hwang and Hong-Bae Kim. "The Transparent Semiconductor Characteristics of ZnO Thin Films Fabricated by the RF Magnetron Sputtering Method", Journal of the Semiconductor & Display Technology, Vol. 9, pp. 43-50, 2010.
5. B. K. Lee and K. M. Lee, "Structural and Electrical Characteristics of IZO Thin Films Deposited on Flexible Substrate", The Journal of the Korean Institute of Electrical and Electronic Material Engineers, 10, pp. 39-44, 2011.
6. Meng Yu and Jungyol Jo "Sputtering Growth of ZnO Thin-Film Transistor Using Zn Target", The Journal of the Korean Institute of Electrical and Electronic Material Engineers, September Vol. 13, pp. 35-38, 2014.
7. Kyoungjin Kim and Joong-Youn Park "Effects of Forced Self Driving Function in Silicon Wafer Polishing Head on the Planarization of Polished Wafer Surfaces", The Journal of the Korean Institute of Electrical and Electronic Material Engineers, March 2014. Vol. 13, pp.13-17 No. 1.
8. Dukyeon Yoo, Hyoungju Kim, Junyeong Kim and Jungyol Jo "Current Variation in ZnO Thin-Film Transistor under Different Annealing Conditions", Journal of the Semiconductor & Display Technology, Vol. 13, pp.63-66, 2014.
9. Chu, M.C., Meena, J.S., Liu, P.T., Shieh, H.D., You, H.C., Tu, Y.W., Chang, F.C., and Ko, F.H., "Oxygen Plasma Functioning of Charge Carrier Density in Zinc Oxide Thin-Film Transistors", Applied Physics Express, Vol. 6, 076501, 2013.
10. Nomura, K., Ohta, H., Takagi, A., Kamiya, T., Hirano, M., and Hosono, H., "Room-Temperature Fabrication of Transparent Flexible Thin-Film Transistors Using Amorphous Oxide Semiconductors", Journal of the Semiconductor & Display Technology Nature, Vol. 432, 488, 2004.
11. Su-Kyeong Kwon and Kyu-Mann Lee "Electrical and Optical Characteristics of IZO Thin Films Deposited in Different Oxygen Flow Rate", Journal of the Semiconductor & Display Technology December Vol. 12, pp.49-54, 2013.
12. D. H. Hwang, H. H. Ahn, K. N. Hui, K. S. Hui, and Y. G. Son, "Effect of Oxygen Partial Pressure Contents on

- the Properties of Al-doped ZnO Thin Films Prepared by Radio Frequency Sputtering”, J. Ceram. Proc. Res., Vol. 12, pp. 150-154, 2011.
13. H. M. Kim and J. J. kim, “Heat Treatment Effects on the Electrical Properties of In₂O₃-ZnO Flms Prepared by RF-Magnetron Sputtering Method”, J. Korean Vacuum Society, Vol. 14, pp. 238-244, 2005.
14. Chun-Yao Hsu, Chin-Hao Tsang, Effects of ZnO buffer layer on the optoelectronic of GZO films, Solar Energy Materials & Solar Cells, 92, 530-536, 2008.
15. Ya Jun Zhang, Hong Bae Kim, “The Optical and Electrical Properties of IGZO Thin Film Fabricated by RF Magnetron Sputtering According to RF Power”, Journal of the Semiconductor & Display Technology, Vol. 12, No. 1. March 2013.
16. X. Chen, W. Guan, G. Fang and X. Z. Zhao, Appl. Surf. Sci, 252, 1561, 2005.
17. C. F. Klingshim, semiconductor Optics, 1st Edition, chapter 3, Springer, Berlin, 1995.
18. B. E. Semelius, K. F. Berggren and Z. C. Jin, I. Hamberg, C. G. Granqvist, Phys. Rev. B, 37, 10244, 1988.
-
- 접수일: 2016년 9월 1일, 심사일: 2016년 9월 7일,
게재확정일: 2016년 9월 22일