

MOCVD로 제작한 ZnO의 성장온도에 따른 특성 변화

서현석[†] · 정의혁 · 조종열 · 최연익 · 서오권*

[†]아주대학교 정보통신대학 전자공학부, *삼성 종합기술원 NFC

Effect of Growth Temperature on the Properties of ZnO Films Grown by MOCVD

Hyun Seok Seo[†], Eui Hyuk Jeong, Jungyol Jo, Yearn Ik Choi and Ogweon Seo*

[†]Department of Electrical and Computer Engineering, Ajou University

*Samsung Advanced Institute of Technology, NFC

ABSTRACT

Characteristics of ZnO films grown on Si-SiO₂ substrates at temperatures of 200~400°C by metalorganic chemical vapor deposition were investigated. The growth rates and mobilities of ZnO films were dependent on growth temperatures. The field-effect mobilities measured in thin-film transistor structure were 15cm²/Vsec.

Key Words : Zinc oxide; Thin film transistors; Metalorganic chemical vapor deposition; Mobilities

1. 서 론

ZnO(zinc oxide)는 wurtzite구조의 화합물 반도체로서 3.4 eV의 direct band gap을 갖는다. 이러한 wide gap특성으로 인하여 UV lighting-emitter, varistor, transparent high power electronic, surface acoustic wave device 및 디스플레이, solar cell에서의 전극으로 널리 주목 받고 있다[1-2]. 최근에는 ZnO의 높은 mobility로 인하여 디스플레이 장치에서의 신호처리용 TFT(thin-film transistor)로도 활발히 연구되고 있다. 디스플레이용 TFT에서 a-Si, OTFT(organic thin film transistor)와 비교해볼 때 ZnO는 저온에서 공정이 가능하여 플라스틱 기판을 사용할 수 있으므로 flexible 디스플레이 적용이 용이하고, passivation 후 공기, 습도 등에 대한 안정성이 OTFT보다 뛰어나고 동시에 mobility도 10배 정도 높다는 점, 습식 식각이 가능하다는 점, 등의 장점이 있다. 최근의 연구결과로는 일본의 Hosono 그룹에서 PET 기판에 laser deposition 방법으로 InGaZnO를 상온에서 증착하여 10cm²/Vsec 정도

의 mobility를 갖는 TFT를 제작하였다[2]. 이러한 특성을 종합해 볼 때 디스플레이 장치에서 신호처리와 발광소자 구동을 위한 TFT회로에 a-Si이나 OTFT보다 ZnO가 사용될 가능성이 아주 높다.

ZnO를 성장시키기 위한 여러가지 기술로 molecular beam epitaxy(MBE) [1], pulsed-laser deposition(PLD) [2], sputtering [3], metal organic chemical vapor deposition (MOCVD) [4-5] 등이 있다. 이들 중 MOCVD가 대면적 기판을 사용할 수 있으므로 대량생산에 장점을 갖고, 또한 III-V 화합물(특히 gallium nitride, GaN)에서 탁월한 성장 기술임이 증명되었다. GaN의 경우 저압 보다 대기압에서 그레이인의 크기와 mobility에서 더 나은 결과를 얻었다[6]. 그러나 ZnO의 경우 Zn 와 O가 vacancy없이 1:1의 정확한 비율을 맞추는 것이 어렵고, 이 성분차이가 vacancy 등의 defect를 유발하여 도핑의 원인이 되므로 ZnO의 캐리어 농도를 제어하는 것에 어려움이 있다[7]. 따라서 본 연구에서는 MOCVD로 ZnO를 성장하여 성장조건에 따라서 박막의 성장률, TFT mobility 등이 어떻게 변하는지를 연구하였다.

[†]E-mail : shyunsuk@hotmail.com

2. 실험

2.1. ZnO 박막 성장

먼저 Si-SiO₂ 웨이퍼에 DEZn(diethylzinc)와 산소를 사용하여 기판 온도 200°C에서 400°C까지 10분 동안 박막을 성장 시켰다. Carrier gas는 질소를 사용하였고, DEZn는 0°C로 유지 하였다. 성장된 박막은 XRD(X-Ray Diffraction), SEM(Scanning Electron Microscope)과 SIMS(Secondary Ion Mass Spectroscopy)로 관찰하였다.

2.2. ZnO TFT 제조

Fig. 1에 보인 ZnO TFT 소자를 다음과 같이 만들었다. 1100Å 두께의 산화막을 가지는 실리콘 웨이퍼 위에 DEZn와 산소를 원료로 하여 MOCVD로 500Å 정도의 얇은 막을 200°C에서 400°C 사이의 온도에서 성장시켰다. Shadow mask를 사용하여 진공 증착한 알루미늄으로 소스, 드레인의 전극을 만들고, 소스-드레인 사이의 간격을 채널(channel length=15 μm, width=500 μm)로 사용하였다. TFT로 사용되지 않는 부분의 ZnO는 희석시킨 초산 용액을 사용하여 습식 식각으로 제거하였다. Fig. 1의 하단의 고농도로 도핑된 실리콘 웨이퍼가 게이트로 사용되었다. 이렇게 만들어진 TFT의 I-V특성을 상온에서 측정하였다.

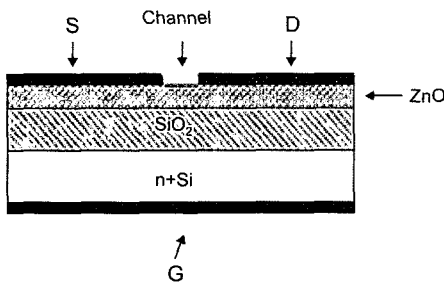
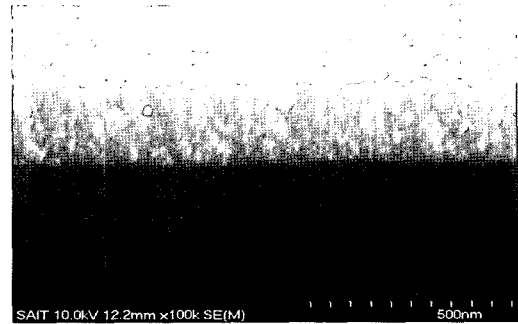


Fig. 1. ZnO TFT(thin film transistor) structure.

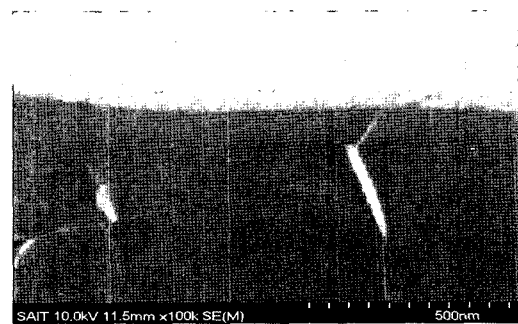
3. 결과 및 고찰

3.1. ZnO 박막의 실험 결과

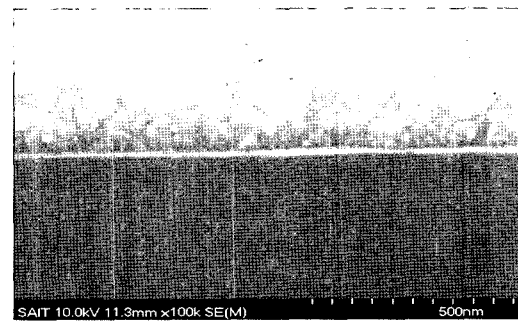
Fig. 2는 성장된 ZnO 박막의 SEM 사진이다. 사진을 비교해 보면 (a) 200°C에서는 결정성이 거의 나타나지 않지만, (c) 400°C에서는 polycrystalline의 결정 성을 볼 수 있다. XRD 측정결과 Fig. 3에 보인 것처럼 wurtzite의 (002) peak가 관찰 되었으며 200°C에서 400°C로 온도가 증가할수록 (002) peak의 세기가 증가 하였다. XRD 결과는 이 정도의 낮은 온도에서도 ZnO가 wurtzite 구조로 성장하였다는 것을 의미하며, Fig. 2의



(a). ZnO films grown at 200°C.



(b). ZnO films grown at 300°C.



(c). ZnO films grown at 400°C.

Fig. 2. SEM images of the ZnO films grown at different temperatures.

SEM 결과와도 일치한다.

Fig. 4는 ZnO 박막에서의 탄소와 ZnO SIMS 측정 결과이다. Zn와 O가 분리되지 않고 detector에 검출되는 것이 많았다. SIMS 결과를 보면 기판 성장 온도 200°C일 때 박막 두께가 더 두껍다. 이것은 온도가 높을 때 DEZn와 산소가 기판에 도달하기 전에 이미 반응을 하여서 기판에 실제로 도달하는 원료의 양이 감소하였기 때문에 성장률이 감소한 것처럼 보이는 것으로 생각된다. 그리고 SIMS 결과에서 탄소의 함량이 온도에 따라

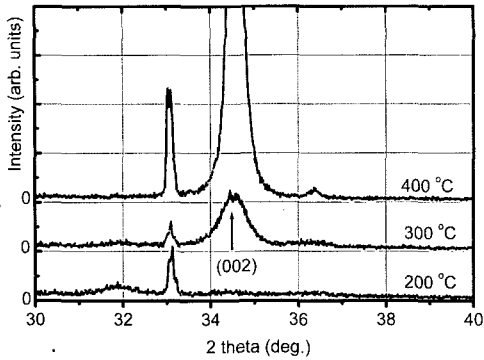


Fig. 3. X-ray diffraction from ZnO grown at different temperatures. The arrow indicates wurtzite (002) peak position, 34.422°.

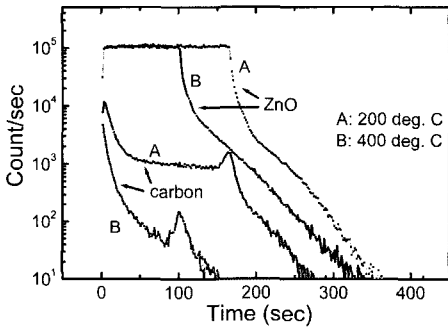


Fig. 4. SIMS profile of ZnO grown at 200°C and 400°C. The figure shows results for ZnO and carbon.

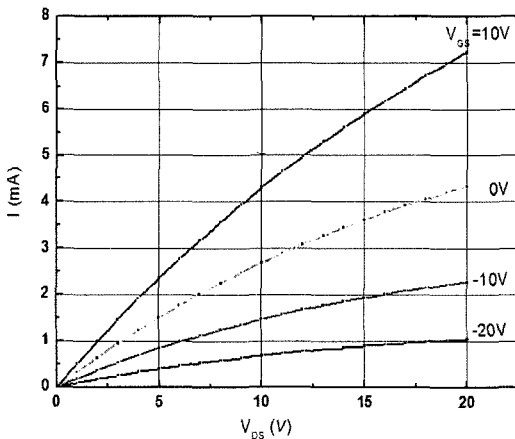


Fig. 5. Current-voltage characteristics of ZnO TFT, grown at 300°C. (channel length=15 μm, width=500 μm)

10배 정도 차이가 나는 것을 볼 수 있다. 200°C에서는 DEZn에 포함된 탄소가 완전히 분리되지 않은 상태에서

산소와 결합하므로 ZnO 박막에 탄소가 들어가는 양이 400°C의 경우보다 많은 것으로 생각된다.

3.2. ZnO TFT의 I-V특성과 mobility

Fig. 5는 상온에서 측정된 TFT의 I-V곡선이다. 약 15cm²/Vsec 정도의 mobility를 보이고 있다. 400°C에서 성장시킨 ZnO는 이보다 낮은 mobility (5cm²/Vsec 이하)를 보였다. 성장 온도가 높아지면 특성이 좋아지는 일반적인 경우와 달리 낮은 온도에서 성장시킨 ZnO TFT가 더 높은 mobility를 보였다. 이 실험 결과는 결정성과 TFT mobility는 직접적인 상관관계는 없다는 것을 보여준다.

4. 결 론

Si-SiO₂웨이퍼에 DEZn와 산소를 사용하여 MOCVD로 기판온도 200°C에서 400°C 사이에서 ZnO 박막을 성장 시켰다. XRD, SEM과SIMS로 측정한 결과 박막이 모두 polycrystalline 형태로 성장되었음을 확인하였다. TFT 구조에서 15cm²/Vsec의 mobility가 측정되었으며, 이 값은 a-Si이나 OTFT 보다 더 높은 값이다. 이것은 MOCVD로 성장된 ZnO박막이 현재의 a-Si을 대체하여 디스플레이 장치의 backplane에 적용될 가능성이 크다는 것을 보여주주고 있다. 우리의 측정 결과에서 TFT의 mobility는 결정성과 직접적인 관련이 적다는 것을 알 수 있었다. 300°C에서 성장된 TFT의 mobility가 400°C 경우보다 더 큰 이유는 아직 명확히 알 수는 없지만, 온도가 높으면 산소와 Zn의 vacancy가 변하고 그것이 defect로 작용하여 mobility변화의 원인이 된다고 생각된다.

감사의 글

본 연구는 삼성종합기술원의 지원 하에 수행되었으며, 이에 감사 드립니다

참고문헌

1. Tang, Z. L., Wong, G. K. L., and Yu, P., "Room-temperature ultraviolet laser emission from self-assembled ZnO microcrystallite thin films," Appl. Phys. Lett., Vol. 72, pp. 3270-3272, 1998.
2. 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," Nature, Vol.

- 432, pp. 488-492, 2004.
3. Bang, K. H., Hwang, D. K., and Myoung, J. M., "Effects of ZnO buffer layer thickness on properties of ZnO thin films deposited by radio-frequency magnetron sputtering," *Appl. Surf. Sci.*, Vol. 207, pp. 359-364, 2003.
 4. Park, W. I., An, S. J., Yi, G. C., and Jiang, H. M., "Metalorganic vapor phase epitaxial growth of high-quality ZnO films in Al₂O₃," *J. Mater. Res.*, Vol. 16, pp. 1358-1362, 2001.
 5. Oleynik N., Dadgar, A., Christen, J., Blasing, J., Adam, M., Riemann, T., Diez, A., Greiling, A., Seip, M., and Krost, A., "Growth of ZnO layers by metal organic chemical vapor phase epitaxy," *Phys. Stat. Sol. (A)*, Vol. 192, pp. 189-194, 2002.
 6. Koleske, D. D., Wickenden, A. E., Henry, R. L., Twigg, M. E., Culbertson, J. C., and Gorman, R. J., "Enhanced GaN decomposition in H₂ near atmospheric pressures," *Appl. Phys. Lett.*, Vol.73, pp. 2018-2020, 1998.
 7. Janotti, A. and Van de Walle, C. G., "Oxygen vacancies in ZnO," *Appl. Phys. Lett.*, Vol. 82, pp. 122102, 2005.