

---

# 산화물반도체 트랜지스터의 전기적인 특성

오테레사

청주대학교

Semiconductor Engineering

Teresa Oh

Cheongju University

E-mail : teresa@cju.ac.kr

## 요 약

본 논문에서는 투명디스플레이를 구현하기 위해 가장 주목받는 ZnO 계열의 산화물반도체의 특성에 대하여 관찰하였다. 알에프 마그네트론 스퍼터링에 의해 증착된 산화물 반도체의 광학적 특성으로부터 전기적인 신호 동작특성의 상호관계를 알아보았다. 박막내의 결함 혹은 불순물이 증가할수록 PL 특성은 장파장 특성이 우세하게 나타났다. SiOC 박막위에서는 에너지 밴드갭이 증가하면서 단파장 특성이 우세하게 나타났다. 트랜지스터의 특성은 기판의 의존도가 높게 나타났다.

## ABSTRACT

The research was observed the characteristic of ZnO based oxide semiconductors for the transparent conducting display. The optical-physical properties of ZnO based oxide semiconductors grown on p-Si wafer were presented. ZnO based oxide semiconductors was prepared by the RF magnetron sputtering system. The characteristic of ZnO based oxide semiconductors was strongly influenced by the amount of localized electron state by the defects. The PL spectra moved to long wave number with increasing the defects in the film. The mobility of a-IGZO film was increased with increasing the oxygen gas flow rate. The resistivity of ZnO based oxide semiconductors was also related to the mobility of ZnO based oxide semiconductors, and the mobility increased at the sample with low resistivity. The electric characteristic of a-IGZO TFTs showed that it is an n-type semiconductor.

## 키워드

IGZO, ZnO, AZO, Transparent conduction oxide, Amorphous

## 1. 서 론

박막형 디스플레이를 구현하기 위해서는 투명전극이 필수적이다. 또한 투명전극은 고효율 LED 혹은 태양전지에서 효율을 높여준다. 따라서 투명전극은 정보를 표시하기 위해 빛을

외부로 방출시키거나 태양광 등을 소자 내부로 입사시켜야 한다. 가장 널리 사용되는 투명전극으로 ITO (Indium Tin Oxide)는 인듐의 독성, 저온증착의 어려움, 스퍼터링시 음이온 충격에 의한 막손상으로 저항의 증가 및 액정디스플레이의 투명전극으로 사용될 경우 400 °C 정도의 높은 온도와

수소플라즈마 분위기에서 장시간 노출시 열화로 인한 광학적 특성변화가 문제로 지적된다.<sup>[1-6]</sup> 이러한 문제 해결의 대안으로 ZnO 산화물 반도체가 있는데 내습성향상과 전도성 향상을 위해서 3족 원소인 B, In, Al, Ga 등을 도핑한 ZnO 투명전도막의 연구가 진행되고 있다. 이러한 원소들 중에서 Al로 도핑했을 때 가장 낮은 비저항을 얻을 수 있다고 알려져 있다.<sup>[7-11]</sup> 투명전도성 박막은 기판 물질의 특성에 따라서 결정성이 달라지며, 고이동도를 위해서는 계면에서의 결정성의 불일치를 최소화해야 한다. 여러 가지 방법으로 도핑

에 의한 n type 혹은 p type ZnO 박막을 이용하여 투명박막 트랜지스터 (transparent thin film transistors: TFTs)가 연구되고 있다. 이러한 투명 전도성 산화물(transparent conducting oxide : TCO)은 태양전지 혹은 디스플레이 등의 대면적 전자소자에 응용할 수 있어서 많이 연구되고 있다. 전극을 형성하는 박막은 높은 광투과율과  $\sim 10^{-4} \Omega \text{cm}$  정도의 낮은 전기비저항을 가져야 한다. ZnO는 일반적으로 격자틈새 Zn 이온( $\text{Zn}_i^{2+}$ )이나 산소 빈자리이온 ( $\text{Vo}^{2-}$ ) 등과 같은 자연적인 도너 이온이 존재하여 n-형 전도특성을 나타낸다. 또한 억셉터 이온의 낮은 도핑 용해도, 결정 내의 결함과 도핑된 억셉터의 복합체 형성, 그리고 도핑된 도펀트가 격자 틈새 자리에 위치함으로써 발생하는 전기적인 비활성화 때문에 p-형 전도특성을 갖는 ZnO 박막의 형성은 어려움이 있다.<sup>[12-14]</sup> IGZO 투명전극의 경우 비정질 특성을 가지고 있어서 다른 결정질 투명전극에 비하여 이동도가 크고 열적 안정성이 좋아 낮은 온도에서 공정이 가능한 특성을 갖고 있다.

본 연구에서 투명전도성 박막으로써 IGZO 박막을 RF 마그네트론 스퍼터링법을 이용하여 성장시켜서 전기적-광학적인 특성을 조사하였다. 또한 IGZO 박막을 이용하여 트랜지스터를 제작하여 그 전기적인 특성을 조사하였다.

## II. 실험방법

IGZO박막은 rf 마그네트론 스퍼터 방법에 의해서 증착하였다. 타겟소스로는 IGZO (In:Ga:Zn:O=1:1:1:1) 2 inch 을 이용하여  $\text{O}_2/(\text{O}_2+\text{Ar})$ 의 분압은 0.2~0.8까지 변화시켜 가면서 박막을 증착하였다. AZO 혹은 ZnO 박막의 증착은 AZO 타겟과 ZnO 타겟을 이용하여 스퍼터링 방법으로 증착하였다. ZnO계열의 산화물 반도체 박막을 증착할때 공정압력은  $1.2 \times 10^{-2}$  Torr를 유지하였다. 증착시 RF파워는 13.56Mhz에서 70W이며, 기판을 회전하면서 박막이 균일하게 증착되도록 하였다. IGZO박막의 특성은 PL luminance (SPEX at Junju KBSI), 홀측정(KJ109, Hall effect measurement system at Junju KBSI)과 AFM (atomic force microscope, S.I.S., GmbH at CheongjuUniversity)을 이용한 평탄도를 조사하였으며, 트랜지스터를 구현한 전기적인 특성도 조사하였다.

## III. 본 론

그림 1은 ZnO 박막의 열처리온도에 따른 XRD 패턴과 PL 분광특성을 보여준다. 증착한 박막에서  $34^\circ$  근처에서 피크 나타나고 열처리하면 사라진다.  $34^\circ$  근처에서 피크 나타나는 박에서 짧은 파장의 분광특성을 보여준다. 이러한 특성은 ZnO 박막의 결정성이 우수한 경우 에너지 갭이 높아지는 일반적인 특성임을 알 수 있다.

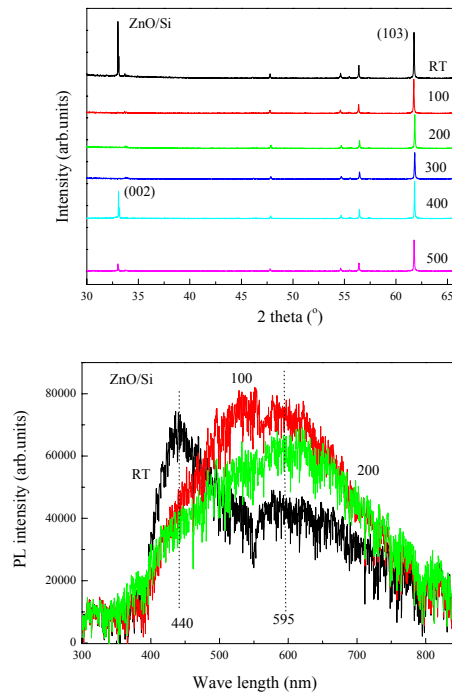


그림 1. ZnO 산화물반도체의 온도에 따른 특성.

IGZO박막은 산소의 분압이 증가할수록 거칠기는 높아지고 있으며,  $\text{O}_2/(\text{O}_2+\text{Ar})=0.33$ 에서 거칠기는 가장 낮게 나타났다. 박막의 거칠기는 박막내의 산소 이온에 의한 결함과 산소 공공에 의한 효과와 관련이 있으며, 산소의 양이 증가할수록 산소치환으로 인한 박막의 결정성 증가가 표면의 거칠기를 증가시키고 있는 것을 알 수 있다. 따라서 IGZO 박막의 비정질도는 산소의 유량이 증가할수록 낮아진다는 것을 알 수 있다. IGZO 박막의 저항은 산소의 유량이 증가할수록 증가하였다. 하지만 산소분압이 0.6을 넘어서면서는 다시 저항은 감소하였다. 이동도는 박막내의 캐리어 농도와 비례하였으며, 산소의 양이 증가할수록 이동도와 농도는 증가하였으며,

산소의 분압이 0.33인 a-IGZO 박막에서 가장 낮은 이동도와 캐리어 농도를 나타내었다. 캐리어의 농도가 증가할수록 저항이 증가하였지만 이동도가 증가하는 것은 산소 공공의 형성이 이동도와 관련이 있기 때문이며, 산소의 양이 증가할수록 산소공공이 많아지기 때문이며, 그러한 원인으로 이동도가 증가하는 경향을 나타내었다.

#### IV. 결 론

ZnO 계열의 산화물반도체는 기판으로 사용되는 Si 웨이퍼의 종류에 따라서 광학적인 특성에 조금의 변화가 있는 것을 확인하였다. 일반적으로 사용되는 SiO<sub>2</sub> 산화막 위에 증착한 AZO 박막에 비하여 SiOC 박막 위에 증착할 경우 빛의 흡수가 많이 일어나는 것을 확인할 수 있었으며, AZO/SiOC 박막의 반사도 역시 많이 감소하였으며, 이러한 전기적인 특성은 태양전지에서 전면전극으로 사용할 경우 반사방지막으로서의 특징도 나타낸다는 것을 의미한다. 스퍼터 방법에 의한 증착법은 낮은 온도에서도 공정이 가능하다는 장점이 있으며, 절연특성이 우수한 SiOC 박막을 ZnO 계열의 산화물반도체 박막의 보호막으로 사용할 경우 용도에 따라서 우수한 특성을 나타낼 수 있음을 확인하였다. IOZG-SiOC 트랜지스터의 특성에서 이동도가 가장 높게 나타났다.

#### 참 고 문 헌

1. K.S. Son, J.S. Jung, K.H. Lee, T.S. Kim, J.S. Park, K.C. Park, J.Y. Kwon, B. Koo, and S.Y. Lee, "Highly stable double gate Ga-In-Zn-O thin film transistor," IEEE Electron Device Lett. 31(8), 812-814, 2010.
2. Jeong, J. K. *et al.* "Impact of device configuration on the temperature instability of Al - Zn - Sn - O thin film transistors," Appl. Phys. Lett. 95, 123505 2009.