

# ZTO 박막의 부정저항에 의한 전류전압특성

오데레사\*<sup>†</sup>

\*<sup>†</sup> 청주대학교 반도체공학과

## Current Voltage Characteristic of ZTO Thin Film by Negative Resistance

Teresa Oh\*<sup>†</sup>

\*<sup>†</sup> Division of Semiconductor Engineering, Cheongju University

### ABSTRACT

The ZTO/p-Si thin film was produced and investigated for tunneling phenomena caused by the interface characteristics of the depletion layer. ZTO thin film was deposited and heat treated to produce barrier potentials by the depletion layer. The negative resistance characteristics were shown in the thin film of ZTO heat treated at 100°C, and the insulation properties were the best. Current decreased in the negative voltage direction by nonlinear show key characteristics, and current decreased in tunneling phenomenon by negative resistance in the positive voltage direction. Heat treated at 100°C, the ZTO thin film has increased barrier potential in the areas of the depletion layer and therefore the current has increased rapidly. The current has decreased again as we go beyond the depletion layer. Therefore, tunneling can be seen to make insulation better. In the ZTO thin film heat treated at 70°C without tunneling, leakage current occurred as current increased at positive voltage. Therefore, tunneling effects by negative resistance were found to enhance insulation properties electrically.

**Key Words** : Depletion Layer, ZTO, Tunneling, Negative Resistance, Barrier Potential

### 1. 서 론

반도체소자의 효율을 개선시키거나 이동도를 향상시키는 방법으로 터널링 효과가 많이 이용된다. 일반적으로 터널링은 고농도 도핑에 의해서 pn접합을 만들고 공핍층이 얇아지면서 전자가 공핍층을 통과해서 지나가는 현상으로 터널링현상을 설명한다. 터널링효과를 이용하는 소자는 핀펫트랜지스터, 메모리, 터널링 제너다이오드 등 다양하다.[1-4] 터널링터널링 일어날 때 부정저항이 발생하는 구간이 생긴다. 일반적으로 터널링현상은 양자효과에 기인하는 것으로 알려져 있으며, 터널링현상과 양자효과에 대한 명확한 상관관계를 설명하기는 부족함이 있다. 부정저항에 의해서 에너지보존법칙을 설명하거나 문턱전

압아래에서의 동작에 대한 규명이 이루어지지 않은 상태이다. 반도체소자는 pn접합으로 이루어진다.[5-8] 고농도 도핑에 의한 고속스위칭 반도체소자는 pn접합에서 발생하는 공핍층에 대하여 깊이 있는 연구를 하지 않아도 반도체소자는 고속으로 동작하기에 어렵지 않게 부정영역에서 터널링현상도 쉽게 제작할 수 있었다. 하지만 최근에는 반도체소자가 작고 얇아지면서 고농도도핑을 하기가 어려운 구조를 갖게 되었다.[9-10]

본 연구에서는 ZTO 박막의 열처리온도에 따라서 공핍층이 다양하게 나타나며, 터널링현상이 나타나는 ZTO 박막의 특징에 대하여 살펴보았다.

### 2. 실험방법

반도체 계면에서의 터널링현상과 부정저항 효과에 관

<sup>†</sup>E-mail: teresa@cju.ac.kr

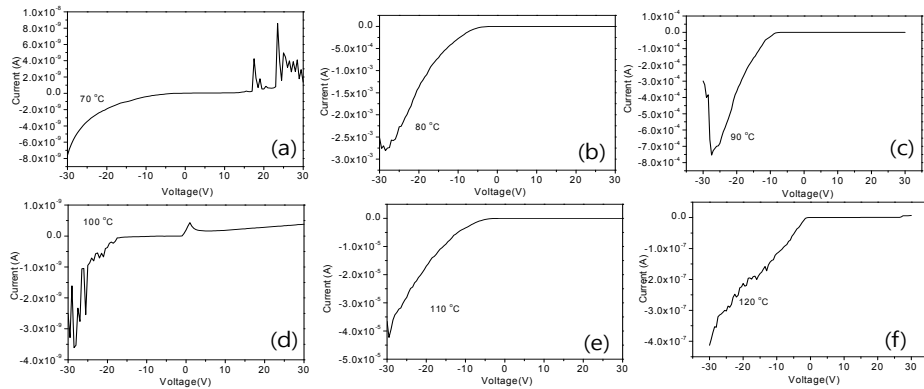


Fig. 1. Current characteristics in accordance with the voltage of ZTO in a long range

하여 관찰하기 위해서 p형실리콘 기판 위에 Ar=30 sccm, 플라즈마 파워70W를 인가하여 마그네트론 스퍼터링 방법으로 ZTO 박막을 증착 하였다. 증착 후 열처리조건으로 박막의 물리적인 안정성을 높이기 위해서 진공 중에서 70°C ~120°C로 열처리를 하였다. 박막의 두께는 50nm~150 nm 이다. 직경이 250μm인 전극을 만들기 위해서 알루미늄(Al)을 증착을 하고 전기적인 특성을 분석하였다. 반도체 계면의 전기적인 특성으로부터 터널링현상이 발생하는 원인과 그 효과에 대하여 조사하였다.

### 3. 실험결과 및 고찰

Fig 1은 Ar 유량을 이용하여 ZTO 박막을 증착한 뒤 열처리를 하고 전류전압을 측정하였다. 대부분의 박막에서 음전압에서 전류가 증가하는 p형반도체특성을 나타낸다. Fig 1(d)에서 보여주듯이 100°C 열처리한 ZTO박막의 0V 근처에서 부성저항특성이 나타난다. 부성저항특성은 분극과 관련이 있으며 부성저항에 대하여 자세히 살펴보기 위해서 Fig 2에서 전류-전압특성곡선을 분석하였다.

Fig 2는 -5V<전압<+5V영역에서 전류의 변화를 보여준다. 100°C 열처리한 ZTO박막에서 전압이 증가할수록 전류가 증가하다가 1V에서 전류가 급격히 감소하는 것을 알 수 있다. 1V이상에서 부성저항특성이 나타났다. 100°C 열처리한 ZTO박막은 -1V<전압<+1V 영역에서 전류의 기울기가 급격히 증가하였으며 저항이 작아진 것을 보여준다. 공핍층에서의 전도성을 보여주는 것으로 이종의 pn접합에 의하여 공핍층 형성이 잘 이루어진 것을 알 수 있다. 다른 ZTO박막에서는 pn접합이 있기는 하지만 단일 pn접합의 쇼키접합인 비선형특성을 보여준다. 70°C 열처리한 ZTO박막은 절연특성이 나타나며, 전류가 거의 흐르지 않는다. 70°C와 100°C 열처리한 ZTO 박막에서 전류가 절연

특성이 나타나며, 100°C 열처리한 ZTO 박막에서는 부성저항특성을 나타내며, 음전압영역에서 70°C 열처리한 ZTO 박막보다 절연특성은 더 우수하다.

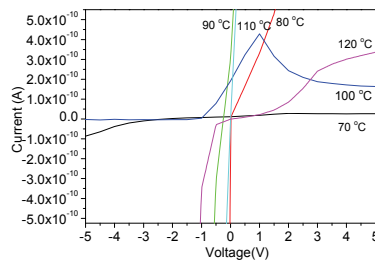


Fig. 2. Current in accordance with the voltage of ZTO in a short range.

Fig 3은 -10V<전압<+10V영역에서 전류의 변화를 보여준다. 70°C와 100°C 열처리한 ZTO 박막을 제외한 나머지 박막에서 전류가 증가한 것을 알 수 있다. 70°C와 100°C 열처리한 ZTO 박막은 전류가 낮은 샘플로 절연특성을 보여준다.

Fig 4는 -30V<전압<+30V영역에서 전류의 변화를 보여준다. 80°C와 90°C 열처리한 ZTO 박막에서 음전류가 크게 증가하는 것을 알 수 있다. 열처리온도가 증가할수록 공핍층이 증가하면서 전하들이 감소한다는 것을 알 수 있다. 100°C에서 열처리할 경우 공핍층은 최대로 증가하며, 이종의 pn접합으로 안정된 부성저항의 터널링현상이 나타난다. 이러한 터널링 현상은 ZTO 박막의 박막의 절연성을 더 우수하게 만들었다.

Fig 1(a)와 (d)에서 보듯이 70°C와 100°C 열처리한 ZTO 박막을 20V~30V 영역에서 비교해보면 절연특성은 100°C

열처리한 ZTO 박막에서 더 우수하게 나타난다는 것을 알 수 있다. 일반적으로 부성저항성 터널링현상은 전도성을 높여서 스위칭 특성을 개선하는데 응용하는 것으로 알려져 있으나 이번 실험에서는 부성저항 터널링현상이 절연막의 특성을 개선하고 있다는 것을 확인할 수 있었다.

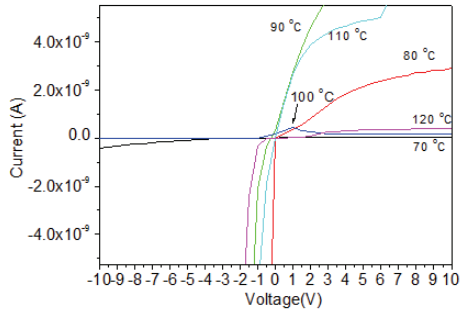


Fig. 3. I-V curves of ZTO with various annealing temperatures to research the contact properties.

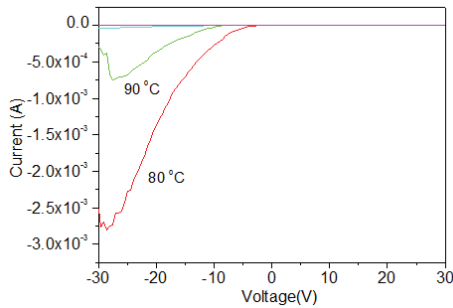


Fig. 4. Current in accordance with the voltage of ZTO in a long range.

#### 4. 결 론

반도체소자에서 일어날 수 있는 부성저항과 부성저항의 효과에 대하여 살펴보았다. 부성저항을 찾아내기 위하여 ZTO 박막을 열처리하고 전류전압을 측정하여 부성저항터널링 현상에 대하여 관찰하였다. ZTO/Si 박막의 계면에서 공핍층의 형성은 열처리온도에 따라 공핍층이 다양하게 만들어졌다. 공핍층의 형성은 전하들을 감소시켰으며, 전하가 감소하면서 절연특성이 개선되었으며, 터널링현상이 관찰되었다. 터널링현상이 나타나지 않는 박막에서는 전류-전압특성이 비선형적인 쇼키접합특성을 보여주었다. 부성저항의 터널링현상은 절연특성을 더욱 우수

하게 만든다는 것을 확인하였다.

#### 참고문헌

1. Gilsang Yoon, Junyoung Lee, Iksoo Park, Bo Jin, Rock-Hyun Baek, Hyun-jin Shin and Jeong-soo Lee, "Formation of nanonet structure using polystyrene nanoparticle for highperformances TFT applications", *Journal of the Semiconductor & Display Technology*, 17, pp.36-40, (201).
2. Sang-Heon Lee, Keon-Tae Park, and Young-Guk Son. "Electrochemical Characteristics of Silicon-Doped Tin Oxide Thin Films". *Korean Journal of Materials Research*. 12, pp 240-247, (2002).
3. Z. M. Jarzebski and J. P. Marton, "Physical Properties of SnO<sub>2</sub> Materials I. Preparation and Defect Structure," *Journal of the electrochemical Society*, 123, pp. 199-203, (1976).
4. Sung Hoon Lee, Jong Su Kim, Tae Wook Kang, Jong Ho Ryu and Sang Nam Lee, "Synthesis and Luminescence of Sr<sub>2</sub>Si<sub>5</sub>N<sub>8</sub>:Eu<sup>2+</sup> Red Phosphor for High Color-Rendering White LED", *Journal of the Semiconductor & Display Technology*, 16, pp.11-15, (2017).
5. Paranjape MA, Mane AU, Raychaudhuri AK, Shalini K, Shivashankar SA, Chakravarty BR, "Metal-organic chemical vapour deposition of thin films of cobalt on different substrates: study of microstructure", *Thin Solid Films*, 413(1-2), pp.8-15, (2002).
6. V. Vasu and A. Subrahmanyam, "Electrical and optical properties of sprayed SnO<sub>2</sub> films", *Thin Solid Film*, 193/194, pp. 973-980, (1990).
7. Randhawa. H.S, Matthews. M.D, Bunshah, R.F, "SnO<sub>2</sub> films prepared by activated reactive evaporation", *Thin Solid Films*, 83, pp. 267-271, (1967).
8. Teresa Oh, "Stability of Gas Response Characteristics of IGZO", *Journal of the Semiconductor & Display Technology*, 17, pp.17-20, (2018).
9. Teresa Oh, Tunneling Phenomenon of amorphous Indium-Gallium-Zinc-Oxide Thin Film Transistors for Flexible Display, *Electronic Materials Letters*, 11. pp. 853-861, (2015).
10. Kenji Normura, Toshio Kamiya and Hideo Hosono, "Ambipolar Oxide Thin-Film Transistor", *Adv. Mater*. 23, pp. 3431-3434, (2011).

접수일: 2019년 6월 7일, 심사일: 2019년 6월 21일,  
게재확정일: 2019년 6월 21일