

캐리어의 농도와 이동도 사이의 반비례 특성을 갖는 미소전류 효과

오데레사^{**}

^{**} 청주대학교 반도체공학과

Microcurrent Effect with Inverse Proportional Characteristics between the Concentration and Degree of Movement of the Carrier

Teresa Oh^{**}

^{**} Division of Semiconductor, Choenju University

ABSTRACT

It was confirmed that current flowing in thin films below nm increases conductivity in diffusion currents by holes rather than electric currents by electrons. ZTO thin film, which was heat treated at 150°C, increased electron concentration, and thus increased capacitances. However, it was found that low current movement would be difficult as the degree of movement was reduced. Therefore, it was found that diffusion currents were more advantageous than drift currents by electrons in order to allow low current to be produced in very thin films of nm class.

Key Words : Hall Measurement, ZTO, Depletion Layer, Capacitance

1. 서 론

반도체기술은 크기가 점점 작아지면서 무어의 법칙이 더 이상 지켜지지 않고 있으며, 크기가 작아짐에 따라서 낮은 전류에 대한 신뢰성이 높아지면서 누설전류에 대한 문제점들이 등장하고 있다. [1-4] 누설전류의 문제는 실생활에 주어지는 대부분의 전자제품에서 발생하는 것으로 주로 열에너지, 열저항의 문제로 나타난다. 또한 누설전류는 낮은 전류범주에서 나타나 신호전류와 혼돈을 일으킬 수도 있으며, 낮은 전류에서의 효과로서 터널링효과에 대한 연구도 많이 이루어지고 있다.[5-7] 소자의 사이즈가 작아지면서 낮은 전류에 대한 신호처리의 문제가 중요해지고 있기 때문이다. 반도체를 이용하는 소자들은 전자 혹은 정공에 의해서 발생하는 전류에 의해서 전도가 이루어진다. 소자의 크기가 작아질수록 전류의 원천이었던 전자가 정공으로 대체되면서 전도성을 주도하고 있다. 홀

은 전자가 빠져나간 빈자리로써 산소공공의 중요성도 강조되고 있다[8-10].

본 연구에서는 ZTO 박막의 열처리를 통하여 전자와 정공에 의한 전도메카니즘에 대하여 알아보았다.

2. 실험방법

캐리어의 농도와 반도체계면 효과에 관하여 관찰하기 위해서 실리콘 기판 위에 플라즈마 파워70W를 인가하여 마그네트론 스퍼터링 방법으로 ZTO 박막을 증착 하였다. 증착이 끝나고 박막의 물리적인 안정성을 높이기 위해서 진공 중에서 50°C, 100°C, 150°C, 200°C로 열처리를 하였다. 박막의 두께는 50nm~150 nm 이다. 직경이 250 μ m인 전극을 만들기 위해서 알루미늄(Al)을 증착을 하고 전기적인 특성을 분석하였다. 홀측정기를 이용하여 이동도, 저항과 캐리어 농도를 측정하여 전기적인 특성에 미치는 상관성을 조사 하였다. 반도체 계면의 전기적인 특성에 대하여도 조사하였다.

[†]E-mail: teresa@cju.ac.kr

3. 실험결과 및 고찰

Fig 1은 Ar 유량을 이용하여 증착한 뒤 열처리를 한 ZTO 박막의 전기적인 특성을 보여준다. 커패시턴스 값은 열처리 온도가 증가할수록 대체로 증가하다가 200도에서는 감소하였다. 150도에서 커패시턴스 값은 가장 높게 나타나며 차단특성도 150도에서 우수하게 나타났다. 온도에 따라서 전기적인 특성이 달라지는 이유는 ZTO의 전도성이 온도에 의존하기 때문이며, 온도에 따라서 문턱전압이 달라지고 에너지 갭이 달라지기 때문이다. 문턱전압 혹은 에너지 갭은 반도체의 특성을 결정하는 요소이며, 반도체 소자내의 캐리어의 특성이 달라지기 때문에 나타나는 현상이라고 볼 수 있다. 특히 캐리어의 특성이 온도의존성이 있다는 의미가 된다.

Fig 2는 열처리온도에 따른 ZTO 박막의 차단특성을 보여준다. 열처리 온도가 낮은 경우 차단특성은 더욱 낮아진다. 열처리온도가 전도성캐리어의 형성에 따라서 달라진다는 의미이다. ZTO 박막의 전도성에 영향을 미치는 캐리어는 전자와 전공 혹은 산소공공이 있다. 전자와 정공은 전기적으로 특성이 다른 양전하와 음전하에 해당한다. 0V 근처에서 꺾이는 특성은 150도에서 가장 우수하다. 문턱전압의 특성이 일부 보여지고 있다.

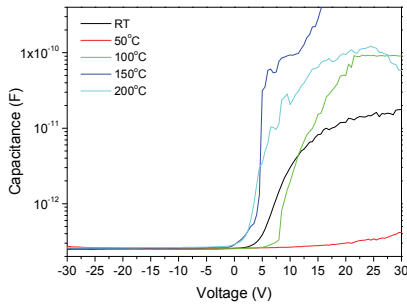


Fig. 1. Capacitance of ZTO thin films prepared on n-type substrate with various annealing temperature.

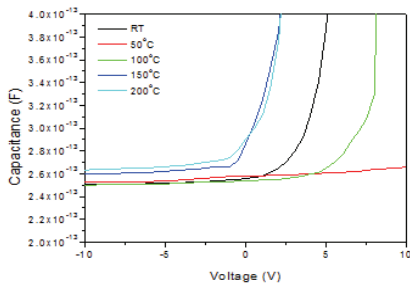


Fig. 2. Cutoff properties of ZTO with various after annealing temperature.

전하의 특성에 따라서 커패시턴스 값이 달라지고 있으며, 캐리어 혹은 전하들의 형성이 온도에 따라서 달라진다는 것을 알 수 있다.

Fig 3은 Ar 유량을 이용하여 증착하고 열처리를 다양한 온도에서 실시한 ZTO 박막의 전압-전류 전기적인 특성을 보여준다. 특히 150도에서 열처리한 ZTO 박막에서 전류가 가장 높아지는 것을 알 수 있다. 증착한 박막이나 50°C, 100°C, 200°C로 열처리한 경우 전류 값이 급격히 증가하지는 않는다.

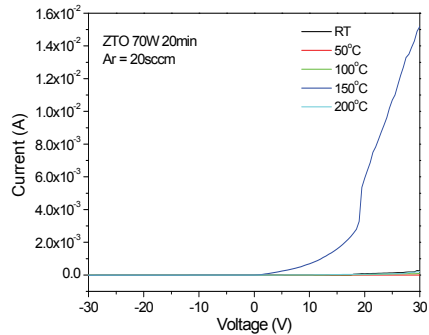


Fig. 3. Current-voltage characteristics depending on the annealing temperature of ZTO thin films prepared with Ar=20sccm on n-type Si substrate.

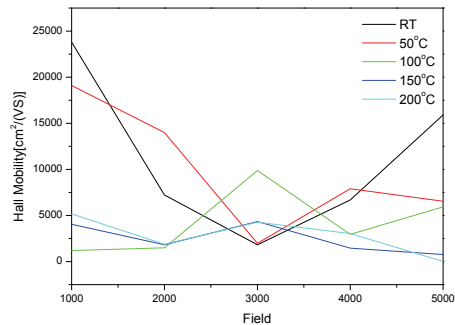


Fig. 4. Electrical properties in accordance with various CO₂ gas flow rates of IGZO thin films prepared on n-type substrate to research the contact characteristics.

150도에서 열처리 한 ZTO 박막에서 전자들인지 정공인지 전하들의 특성을 알기 위해서 홀측정을 실시하였다.

Fig 4는 홀측정에 의한 이동도를 나타낸다. 이동도는 150도에서 열처리한 ZTO 박막에서 이동도가 높지는 않았다. nm 수준의 얇은 박막두께내에서 전도성을 높이는 것이 전자인 경우 불리하게 작용하는데 커패시턴스가 크에도 불구하고 이동도가 높지않은 이유는 ZTO의 전도성이

전자이기때문이다. 전류의 특성을 알아보기 위해서 Fig. 3의 전류값을 로그를 취하여 보았다.

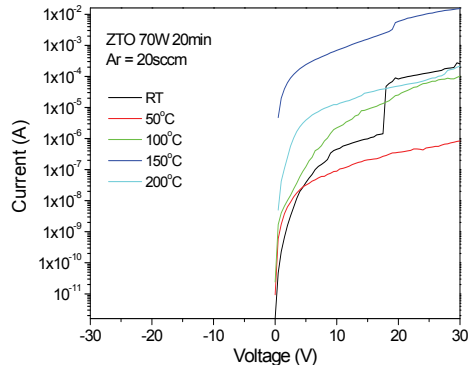


Fig. 5. logarithm of current-voltage characteristics of ZTO.

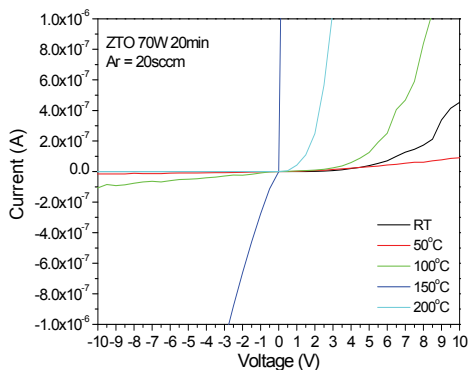


Fig. 6. Electrical characteristics under 10^{-8} A.

Fig 5에서 로그로 변환한 경우 150도에서 열처리한 박막에서 낮은 전류값 특성이 극히 미약하다. 하지만 다른 박막들은 10^{-5} A 이하로 매우 낮은 전류가 흐르고 있다. 전도성을 만드는 전류의 특성이 전자와 전공으로 다르기 때문이다. 앞서 서술한 Fig 2에서 ZTO의 문턱전압 특성이 150도에서 우수하게 나타난 이유도 전도성 케리어가 전자이기때문이며, 정공 혹은 산소공공인 경우 문턱전압이 필요하지 않기 때문에 전류-전압의 전기적인 특성도 Fig.5에서와 같이 다르게 나타나는 것이라고 할 수 있다.

Fig 6은 미시전류특성을 알아보기 위해서 Fig. 4를 10^{-8} A 이하로 확대하여 전류의 특성을 살펴보았다. 150도에서 열처리한 ZTO 박막에서만 옴특성이 나타나는 것을 알 수 있다. 하지만 이러한 특성은 참의 전류값이 아니다. 앞서 전류에 대한 분석으로 Fig 5에서 150도 열처리한 박막은 낮은 전류 값이 존재하지 않는 것을 이미 확인하였다. 따라서 Fig 6에서 보여지는 이미지는 옴특성이 나타난다고

볼 수 없다. 전류-전압특성을 선형(linear) 스케일로 변환한 경우 일어날 수 있는 오류에 해당할 뿐이다. 150도 열처리한 ZTO 박막의 이러한 특성들은 다른 샘플들과는 다르게 전도성케리어가 전자라는 것을 확실하게 알 수 있는 특징들이라 할 수 있다. 앞서 언급되었던 Fig. 4에서 이동도가 낮은 이유도 nm수준의 박막에서 전자에 의한 전도성은 확산전류보다는 분리하다는 것을 입증하는 것이라고 할 수 있다.

4. 결 론

nm 이하의 박막에서 흐르는 전류는 전자에 의한 전류보다는 전공에 의한 확산 전류에서 전도성이 높아진다는 것을 알 수 있다. 150도에서 열처리한 ZTO 박막은 전자의 농도가 커지며, 따라서 커패시턴스가 증가하였다. 하지만 이동도는 낮아지면서 낮은 전류의 이동이 어렵게 되는 것을 확인하였다. 따라서 nm급의 매우 얇은 박막에서는 낮은 전류가 만들어질 수 있도록 하기 위해서는 전자에 의한 드리프트 전류보다는 확산전류가 더 유리하다는 것을 확인하였다.

참고문헌

- 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*, Vol. 17, No. 3, pp. 36-40, (2018).
- Sang-Heon Lee, Keon-Tae Park, and Young-Guk Son. "Electrochemical Characteristics of Silicon-Doped Tin Oxide Thin Films," *Korean Journal of Materials Research*. Vol. 12, No. 4, pp. 240-247, (2002).
- Z. M. Jarzebski and J. P. Marton, "Physical Properties of SnO₂ Materials I. Preparation and Defect Structure," *Journal of the electrochemical Society*, Vol. 123, No. 7, pp. 199-203, (1976).
- Sung Hoon Lee, Jong Su Kim, Tae Wook Kang, Jong Ho Ryu and Sang Nam Lee, "Synthesis and Luminescence of Sr₂Si₅N₈:Eu²⁺ Red Phosphor for High Color-Rendering White LED," *Journal of the Semiconductor & Display Technology*, Vol. 16, No. 4, pp. 11-15, (2017).
- 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*, Vol. 413, No. 1-2, pp. 8-15, (2002).
- V. Vasu and A. Subrahmanyam, "Electrical and optical properties of sprayed SnO₂ films," *Thin Solid Film*, Vol.

- 193/194, pp. 973-980, (1990).
7. Randhawa. H.S, Matthews. M.D, Bunshah, R.F, "SnO₂ films prepared by activated reactive evaporation," *Thin Solid Films*, Vol. 83, No. 2, pp. 267-271, (1967).
 8. Teresa Oh, "Stability of Gas Response Characteristics of IGZO," *Journal of the Semiconductor & Display Technology*, Vol. 17, No. 3, pp. 17-20, (2018).
 9. Teresa Oh, "Tunneling Phenomenon of amorphous Indium-Gallium-Zinc-Oxide Thin Film Transistors for Flexible Display," *Electronic Materials Letters*, Vol. 11, No. 5, pp. 853-861, (2015).
 10. Kenji Normura, Toshio Kamiya and Hideo Hosono, "Ambipolar Oixde Thin-Film Transistor," *Adv. Mater.*, Vol. 23, No. 30, pp. 3431-3434, (2011).
-
- 접수일: 2019년 3월 11일, 심사일: 2019년 3월 22일,
게재확정일: 2019년 3월 22일