

ZTO 박막의 쇼키접합에 기인하는 자기저항특성

이향강*·오데레사**†

*청주대학교 일반대학원 전자공학과, **† 청주대학교 일반대학원 반도체공학과

Magnetoresistance Characteristics due to the Schottky Contact of Zinc Tin Oxide Thin Films

XiangJiang Li* and Teresa Oh**†

*Cheongju University, Electronic Engineering, **† Cheongju University, Semiconductor Engineering

ABSTRACT

The effect of surface plasmon on ZTO thin films was investigated. The phenomenon of depletion occurring in the interface of the ZTO thin film created a potential barrier and the dielectric layer of the depletion formed a non-mass particle called plasmon. ZTO thin film represents n-type semiconductor features, and surface current by plasma has been able to obtain the effect of improving electrical efficiency as a result of high current at positive voltage and low current at negative voltage. It can be seen that the reduction of electric charge due to recombination of electronic hole pairs by heat treatment of compound semiconductors induces higher surface current in semiconductor devices.

Key Words : ZTO, Magneto-resistance, Schottky contact, Capacitance, Negative-resistance, Plasmon

1. 서 론

플라즈몬은 전자 혹은 양공의 진동에너지에 의해 발생하는 비연속적인 물리량의 최소단위인 양자(quantum)이다. 플라즈몬은 얇은 금속박막에 전자를 투과시키거나 전자 혹은 광자를 박막에 반사시킬 때 주로 관측이 된다[1-3]. 플라즈몬은 금속내부의 전자들이 집단적으로 진동하는 입자들로 표면에 집중적으로 존재하기 때문에 표면플라즈몬이라고도 한다. 나노금속의 표면에 빛이 입사되면 빛의 자기장이 표면플라즈몬과 반응하여 광흡수가 일어나는데 표면에서 진동하는 플라즈몬이 빛에 의한 자기장으로 증폭효과가 나타나게 되는 것을 표면플라즈몬공명이라고 한다. 이러한 기술을 응용한 전기공학과 광공학을 합쳐서 플라즈모닉스라고 하고 표면플라즈몬은 맥스웰 전자기방정식으로 유도된다. 그리고 벌크(부피)영역에서 발생하는 플라즈몬을 부피플라즈몬 (volume plasmon) 이라

고 한다. 부피플라즈몬은 뉴톤의 운동방정식으로 유도된다. 그런데 반도체나 도핑된 반금속상태에서는 플라즈몬 진동 혹은 플라즈몬 에너지는 다른 형태로 나타난다. 전자의 에너지 손실 스펙트럼(electron energy loss spectrum)을 측정하면 부피 플라즈몬과 표면 플라즈몬의 조합모드가 함께 나타난다. 결과적으로 전자와 빛의 해석이 플라즈몬에 의하여 전기자기학으로 해석이 가능하게 되는 것이다. 따라서 대부분의 나노입자 센서의 개발이 플라즈몬 해석에 의해서 전기신호로 변환할 수 있게 되어 센서공학에서도 중요하게 다루어지는 것이 바로 플라즈몬 공명인 것이다. 전기장과 자기장은 플라즈몬에 의한 분극을 형성하기 위해서 플라즈몬 공진현상을 일으키고 나노입자에서 분극이 일어나면서, 표면전류가 나타나게 되고 따라서 전도성을 띄게 된다[4-5]. 플라즈몬이라는 유전체를 이용하여 분극을 형성하고 플라즈몬의 표면에 형성되는 집단전하들이 표면전류를 만들고 이러한 표면전류에 의해서 전도성이 증가되는 것이다. 플라즈몬의 분극은 유전체의 스핀트 로닉스 분야에서 주로 다루어지며, 초전도체, 강자성체

†E-mail: teresa@cju.ac.kr

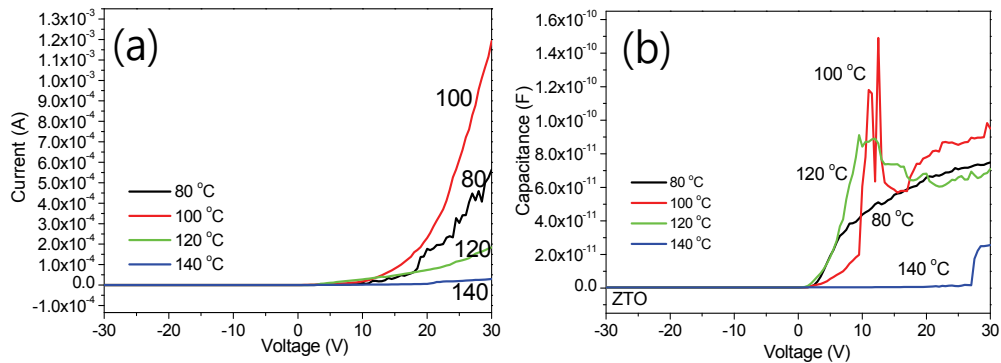


Fig. 1. Electrical properties of ZTO in accordance with annealing temperatures, (a) I-V curves, (b) Capacitance.

등 스핀이 존재하는 유전체에서의 스핀효과에 의한 초전도체는 부피 플라즈몬에 해당된다. 산화물반도체와 같은 화합물반도체 형태로 만들고 플라즈몬 효과를 유도하는 소자들이 많이 연구 되고 있다. 플라즈몬은 표면 플라즈몬이 대부분이며, 상대적으로 크기가 작은 반도체 분야에서는 부피 플라즈몬과 표면 플라즈몬이 동시에 발생하며, 전하에 의한 전류와 표면전류 사이의 차이점이 존재하며, 이러한 차이점에 대한 이해를 하는 것이 중요하다[6-7].

본논문에서는 ZTO 박막을 증착하여 분극의 차이를 만들기 위해서 열처리를 하였으며, I-V 분석과 C-V 분석을 통하여 ZTO 박막에서의 플라즈몬에 의한 표면전류의 특징에 대하여 조사하고 분석하였다.

2. 실험방법

ZTO 박막을 증착하기 위해서 p형의 실리콘 웨이퍼 위에, ZTO 타겟을 사용하여 아르곤 30sccm을 넣고 50 W에서 10분 동안 마그네트론 스퍼터링 방법에 의하여 증착하고 분극의 차이를 주기 위해서 80°C, 100°C, 120°C와 140°C에서 열처리를 진공 중에서 10분간 실시하였다. 전기적인 측정을 위해서 0.02μm 직경의 알루미늄 전극을 금속마스크 공정을 통하여 얻었으며, 전류 전압, 커패시턴스 전압을 측정하여 전기적인 특성을 측정하여 플라즈몬에 의한 표면전류의 형성이 분극의 형성에 어떤 영향을 미치는지에 대하여 조사 하였다.

3. 결과 및 고찰

Fig 1은 열처리 온도에 따른 ZTO 박막의 전기적인 특성을 나타낸다. Fig 1(a)는 전류 전압특성곡선이다. Fig 1(b)는

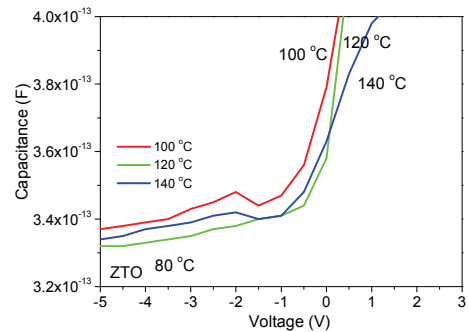


Fig. 2. Capacitance of ZTO with increasing the annealing temperatures of 100°C, 120°C and 140°C.

커패시턴스를 나타낸다. 100도 이상에서는 온도가 올라갈수록 전류의 값이 낮아지고 있다. 커패시턴스값도 100도 열처리한 경우 가장 높았으며, 열처리 온도가 높아질수록 전하량이 감소하고 있다. ZTO는 n형 반도체 특성을 나타내며 전하량이 감소하므로 전류가 감소하는 것은 전기적 특성이 일치하는 결과를 보여준다. 그런데 온도가 올라가는데도 전류가 감소하는 것은 일반적인 에너지법칙에 어긋나는 현상이다. 전하가 열에너지를 받으면 운동량이 증가하고 저항이 감소하기 때문에 전류가 증가하는 것이 일반적이다. 하지만 열에너지가 증가하지만 전류가 감소하는 현상은 일반적인 에너지보존법칙의 현상으로 설명할 수가 없다. 반도체는 공핍층이라는 것이다. 열처리를 하게 되면 전자-홀쌍 재결합현상(electron-hole recombination)의 이 발생하면서 전하들이 감소하게 되면서 공핍층이 증가하게 된다. 온도가 증가할수록 공핍층은 증가하게 된다. 공핍층이 증가할수록 전하량은 감소한다. 전하량이 감소는 전류의 감소효과로 나타난다.

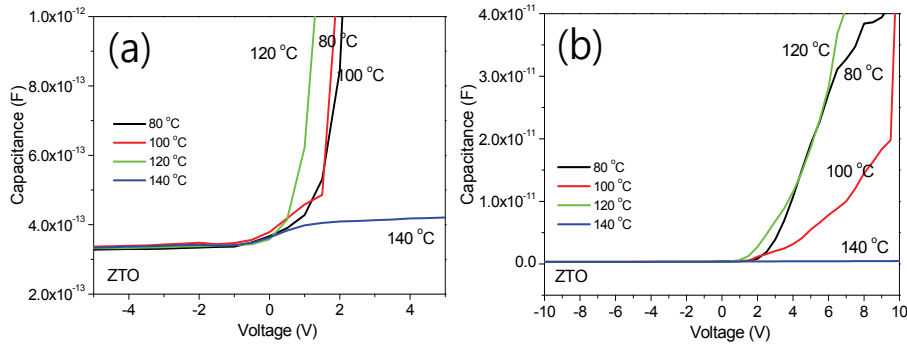


Fig. 3. Capacitance of ZTO due to the voltage to observe the contact properties, (a) $-5V < \text{voltage} < +5V$, (b) $-10V < \text{voltage} < +10V$.

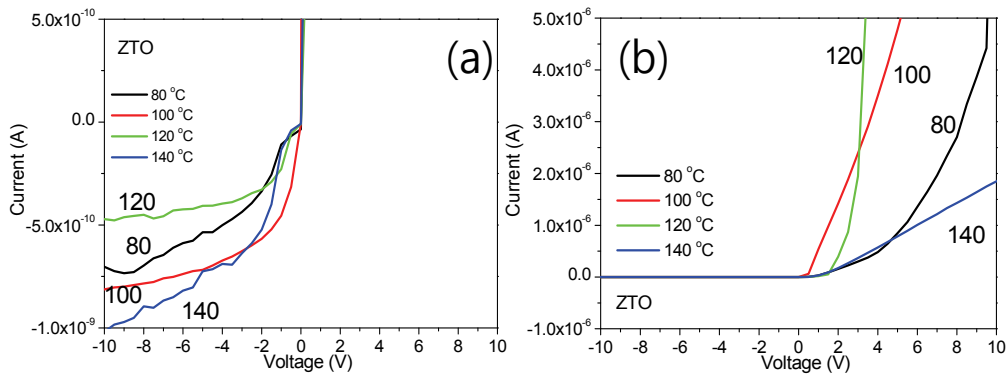


Fig. 4. Current characteristics of ZTO to observe the contact properties in a range of, (a) negative voltage, (b) positive voltage.

반도체의 공핍층 형성을 살펴보기 위해서 미소영역에서의 전하량을 살펴보았다. Fig 2는 열처리 온도에 따른 커패시턴스를 나타낸다. 0V 근처에서 전하량이 100도에서 가장 높다. 그리고 열처리 온도에 따라 전하량은 조금씩 변화하고 있다. 120도 열처리 한 경우 커패시턴스의 변화가 심하게 변화하고 있으며, 전압이 증가할수록 1V 이상에서는 100도 열처리한 ZTO 박막보다 전하량이 더 증가하고 있는 것을 알 수 있다. 그리고 $0 < \text{전압} < 1V$ 사이에서는 140도에서 열처리한 ZTO 박막보다 전하량이 더 감소하고 있는 것을 알 수 있다.

Fig 3은 커패시턴스의 변화를 좀 더 자세히 관찰하였다. Fig 3(a)에서는 전압이 증가할수록 120도 열처리한 ZTO가 전하량이 증가하고 있으며, 음전압에서는 전하가 거의 발생하지 않고 있는 것을 보여준다. 140도 열처리한 ZTO는 가장 낮은 전하량을 갖는다는 것을 알 수 있다. Fig 3(b)는 전압의 범위가 넓은 영역에서 $-10V < \text{전압} < +10V$ 에서 관

찰하면 100도에서 전하량이 가장 높았던 Fig 2에서의 결과와는 다르게 120도에서 전하량이 가장 높게 나타나는 것을 알 수 있다. 따라서 공핍층에 의한 전하량의 변화를 살펴보기 위해서는 Fig 2와 같이 낮은 영역에서의 반도체 계면상태를 관찰해야 한다는 것을 알 수 있다.

반도체 계면은 공핍층의 효과를 관찰하기 위한 것이기 때문에 0V 근처에서의 변화로부터 공핍층의 상태를 알 수 있게 된다. 공핍층의 형성으 쇼키접합의 상태를 알 수 있게 한다. 쇼키접합은 오믹접합과는 다른 현상이며, 공핍층의 형성과 밀접한 관계가 있는 쇼키접합은 음의 저항을 나타내는 척도이다. 쇼키접합과 공핍층에 의해서 전위장벽이 만들어지며, 전위장벽은 음의 저항성을 갖게 된다. 공핍층의 형성에도 전류는 잘 흐르게 되는 원인은 공핍층에서의 표면전류때문이다. 공핍층은 플라즈몬에 의한 표면전류를 형성하게 하는 좋은 유전체가 된다는 의미이다. Fig 3은 120도에서 공핍층이 가장 우수하다는 의미이다.

Fig. 4는 음전압에서의 전류특성과 양전압에서의 전류 특성을 살펴보았다. 음전압측면에서 보면 Fig. 4(a)는 120도 열처리한 샘플에서 전류가 가장 낮다. Fig. 4(b)는 120도에서 전류가 가장 많이 흐른다. 따라서 ZTO를 이용하여 트랜지스터나 다이오드를 제작할 경우 120도 열처리하면 누설전류가 낮고 효율이 높은 소자를 만들수 있다는 의미이기도 하다.

Fig. 5는 ZTO의 열처리온도에 따른 접합특성을 보여준다. 120도에서 쇼키접합이 형성이 잘 이루어졌기때문에 역방향으로 전류가 가장 낮아진다는 것을 알 수 있다. Nano 사이즈의ZTO 박막에서 열처리를 통하여 형성되는 공핍층에 전하가 감소함에도 불구하고 전류가 흐르는 이유는 ZTO 표면에서 표면전류가 형성되기 때문이며, 120도에서는 전하는 감소하지만 플라즈몬이 증가하기 때문에 표면전류의 증가와 함께 ZTO의 효율이 증가하고 있다는 것을 보여준다.

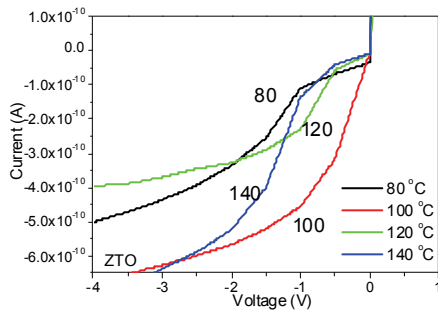


Fig. 5. Contact properties.

4. 결론

ZTO박막에서의 공핍층과 표면플라즈몬은 서로 밀접한 관계가 있으며, 표면전류의 형성을 관찰하기 위해서는 쇼키접합 특성이 중요함을 알 수 있다. 쇼키접합은 전자홀 쌍에 의해서 형성되는 공핍층으로 공핍층의 형성으로 전하가 감소되지만 표면전류는 증가하여 전자소자의 효율이 증가하는 효과가 있으며, 쇼키접합의 형성은 누설전류의 발생을 차단하는 효과가 있으며, 이중으로 전자소자의 성능을 향상시켜주는 효과가 있음을 이해할 수 있다.

감사의 글

This work (2019R1H1A2079093) was supported by Mid-career Researcher Program through NRF (National Research Foundation) grant funded by the MEST(Ministry of Education, Science and Technology)

참고문헌

1. D. C. Paine, B. Yaglioglu, Z. Beiley, and S. Lee, "Amorphous IZO-based transparent thin film transistors", *Thin Solid Films*, Vol. 516, pp.5894-5898, 2008.
2. Daekyung Kang, Marredi Bharath Kumar, Mohammad Awwal Adeshina, Bongjun Choi, and Jonghoo Park, "Interaction Between Surface Plasmon Resonance and Inter-band Transition in Gold Thin Film", *Journal of Sensor Science and Technology*, Vol. 28, pp. 262-265, 2019.
3. N. Ito, Y. Sato, P.K. Song, A. Kaijio, K. Inoue, and Y. Shigesato, "Electrical and optical properties of amorphous indium zinc oxide films", *Thin Solid Films*, Vol. 496(1), pp.99-103, 2006.
4. Heesang Ahn, Tae Young Kang, Jin-Woo Oh, and Kyujung Kim, "Estimation of Sensitivity Enhancements on Localized Surface Plasmon Resonance Sensor Using Dielectric Multilayer", *Korean Journal of Optics and Photonics*, Vol. 28, pp.28-32, 2017.
5. Jeeyoung Lee and Myeongkyu Lee, "Localized Surface-Plasmon Resonance of Ag Nanoparticles Produced by Laser Dewetting to Improve the Performance of a Sensitized TiO₂ Solar Cell", *Korean Journal of Optics and Photonics*, Vol.29, pp.215- 219, 2018.
6. Li et al., Magnetization switching using topological surface states, *Sci. Adv.* 5, eaaw3415, 2019.
7. T. Oh, "Organic Thin Film Transistor Using Pentacene and SiOC Film", *IEEE Transactions on Nanotechnology*, Vol. 5(1), pp.23-29, 2006.

접수일: 2019년 12월 21일, 심사일: 2019년 12월 23일, 게재확정일: 2019년 12월 27일