

단일 ZnO 나노선의 광전도 메커니즘에 대한 연구

김기현, 김상식
고려대학교 전기공학과

Study for photoconduction mechanism of a single ZnO nanowire

Kihyun Keem, Sangsig Kim
Department of Electrical Engineering, Korea University

Abstract - Electrodes were fabricated on a single ZnO nanowire by photolithography process, metal evaporation, and lift-off. The slow photoresponses of the ZnO nanowire under the continuous illumination of 325nm-wavelength light (corresponding to above-bandgap excitation) indicate that the traps related to oxygen vacancy disturb the flow of electron in ZnO nanowire. The photoresponse and PL spectra were measured, and observed that the excitonic band in the PL spectrum was absent in the photoresponse.

(photolithography)공정을 이용하여 선택적으로 단일나노선을 패터닝한 후, thermal evaporator를 이용하여 티타늄(Ti)과 금(Au)을 각각 20nm와 100nm를 증착하였다. 이러한 시료는 Lift-off 공정을 통하여 단일 ZnO 나노선에 전극을 형성하였다. 단일 ZnO 나노선의 전극 형성된 이미지가 그림 1에 보인다. 그림 1에서 패터닝된 ZnO 나노선의 직경은 약 100nm이며, 전극사이의 간격은 6μm이다.

1. 서론

지난 40여 년간 n형 ZnO 박막의 광응답이 표면에 의한 영향으로 느린 감쇠(decay) 과정을 보이는 것은 잘 알려져 있다.[1,2] ZnO 박막에서 광전도는 주로 산소의 흡착과 탈착에 의해 이루어진다. 산소는 화학적으로 흡착된 표면 상태를 형성하기 위하여 표면으로부터 자유전자를 얻음으로써 흡착되며, 박막에 공핍층을 형성한다. 광자가 입사될 때, 표면에서 광흡수에 의해 생성된 정공들은 음으로 충전된 산소 이온을 방전시키고, 전자는 박막의 전도도를 증가시킨다.

광전도는 단결정[3], 결정성 박막[4] 및 다결정성 박막[5] 등의 여러 형태의 ZnO에 대하여 많은 그룹들이 연구해왔다. 이러한 형태들의 활발한 연구에도 불구하고, ZnO 나노선의 광전도는 아직 널리 연구되어 있지 않다. 최근에 자외선 조사에 의한 ZnO 나노선의 광전도가 Yang 등에 의해 보고되었다[6]. 그럼에도 불구하고, ZnO 나노선의 광전도 메커니즘이 현재 알려져 있지 않고 있다. 본 논문은 광사진식각 공정을 통하여 단일 ZnO 나노선에 전극을 형성하고, 광전도 특성 및 PL 특성 측정 비교를 통하여 광전도 메커니즘을 분석하였다.

2. 본론

2.1 실험

ZnO 나노선이 열화학 기상증착법(thermal chemical vapor deposition)에 의해 합성되었다[7]. ZnO 분말의 합성온도를 낮추기 위하여 20시간동안 불밀처리하였다. 불밀 처리된 ZnO 분말이 알루미늄나트륨의 중탕에 놓여졌고, 실리콘 기판이 배기구에서 6-8cm 떨어진 곳이 위치시켰다. 그리고 알루미늄 나트륨이 1380℃로 1시간동안 가열하였고, 합성중에 알곤 가스 500sccm을 흘려주었다. 합성된 ZnO 나노선을 에탄올 용액에 분산하였고, SiO₂/Si 기판위에 나노선을 뿌리고, 광사진식각

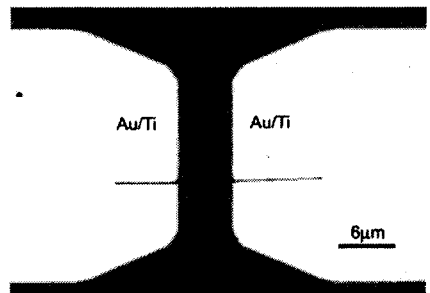


그림 1. 단일 ZnO 나노선의 광학 현미경 이미지.

2.2 결과 및 고찰

그림 2는 단일 ZnO 나노선에 대한 광전도 특성과 전류-전압 특성 곡선을 보여준다. 전류-전압 특성 곡선에서 보이듯이 ZnO 나노선이 티타늄 전극에 음성으로 접촉된 것을 확인할 수 있다. 또한 전류 레벨이 매우 높은 것을 확인할 수 있는데, 이는 ZnO 나노선 내에 산소공극의 밀도가 높아서 ZnO 나노선이 높은 농도의 n형 반도체 특성을 나타내어서 인 것으로 판단된다. 산소공극(oxygen vacancy)은 도너로 작용하기 때문에 산소공극의 밀도가 증가함에 따라서 ZnO 나노선은 낮은 저항을 나타낸다. 반대로 ZnO 나노선이 산소 분위기에서 충분히 산화되면 ZnO 내부의 산소의 농도가 감소함으로 높은 저항을 나타낸다. 그림 2의 광전도 특성은 ZnO의 밴드갭보다 큰 325nm의 파장의 빛을 조사하여 광전도 변화를 관찰한 것으로 느린 광응답 특성을 보인다. 이는 밴드갭보다 큰 빛에너지에 의해 ZnO 나노선 내부에 전자-정공쌍이 생성되고, 정공은 ZnO 나노선 표면에 흡착되어 있는 산소이온과 재결합하여 산소분자를 탈착시키고, 전자는 광전도에 기여한다. 그러나 ZnO 나노선에 산소공극(vacancy)이나 결함(defect) 등이 트랩(trap)으로 작용하여 광응답 특성의 감쇠속도가 느려진다.

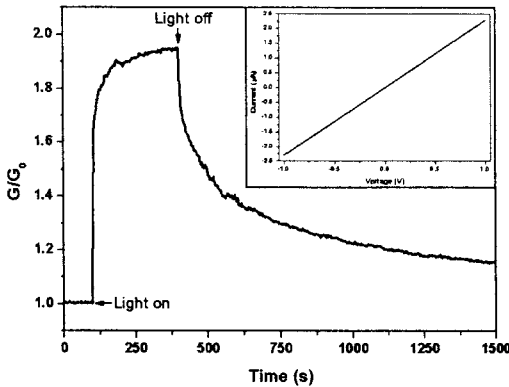


그림 2. 단일 ZnO 나노선의 광응답 특성과 전류-전압 특성 곡선. G/G_0 전도도의 비율(G_0 : 빛을 조사하지 않았을 때의 전도도).

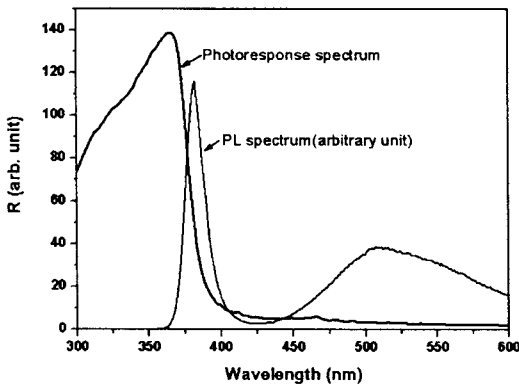


그림 3. 단일 ZnO 나노선의 파장에 따른 광응답 스펙트럼 및 PL 스펙트럼.

그림 3은 광응답 스펙트럼과 PL 스펙트럼을 보여준다. ZnO의 밴드갭보다 작은 에너지의 빛에서는 광응답 특성이 거의 나타나지 않는 것을 확인할 수 있으며, 밴드갭보다 약간 큰 파장대에서 높은 광응답 특성을 확인할 수 있다. ZnO 물질은 자외선 영역에서 높은 광검출특성을 나타낸다. PL 스펙트럼과 비교해 볼 때, ZnO 밴드갭과 일치하는 에너지에 의해 생성된 전자-정공쌍은 광전도에 기여하지 못하고, 재결합하여 발광하기 때문이다. 또한 PL 스펙트럼에서 450 ~ 600nm 영역에서의 넓은 PL 피크들은 ZnO 나노선의 산소공극(oxygen vacancy)으로 인한 것이다. 이러한 산소 공극이 ZnO 나노선 내부에 트랩(trap) 준위로 작용하며, 이러한 트랩들로 인하여 광전도 캐리어들의 life time이 짧아지는 것으로 판단된다. 이러한 현상은 그림 2의 광응답 특성이 느린 감쇠속도를 갖는 원인이기도 하다.

빛에 의해 생성된 전자가 광전도에 기여할 때, 전극까지 도달하는 전자의 시상수(time constant)를 알아 보기 위하여 ZnO 나노선에 조사되는 빛을 chopper를 이용하여 사각 펄스형태로 변조하였다. 이때 변조주파수에 따른 광신호를 그림 4에 보인다. 변조 주파수를 역수 한 값을 시상수로 정의하고 그림 4의 삽입도에 보였다. 그림 4의 삽입도에서 볼 수 있는 것처럼 시상수에 따른 광신호는 선형적으로 나타나는 것을 볼 수 있는데, 이는 시간에 따라서 광신호가 일정한 값을 가지는 것을 의미한다. 또한 변조주파수에 따른 광신호 측정은 52Hz까지

가 측정한계였다. 이는 1/52초 보다 빠른 시상수를 가지는 광전도전자의 수가 매우 적어서 측정이 불가능함을 의미한다.

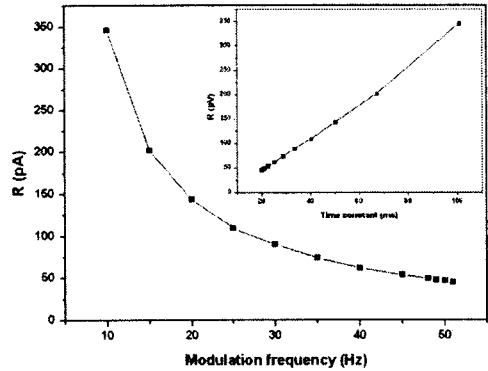


그림 4. 단일 ZnO 나노선의 변조주파수에 따른 광신호 변화. 삽입도: 시상수(변조주파수의 역수)에 따른 광신호 변화.

3. 결 론

단일 ZnO 나노선을 광사진식각 공정을 이용하여 선택적으로 패터닝하였다. 단일 ZnO 나노선의 전류-전압 특성은 음성 접촉 특성을 나타내었고, 광응답 특성을 통하여 ZnO 나노선이 트랩이나 결함을 포함하고 있는 것을 확인하였다. 또한 광응답 스펙트럼과 PL 스펙트럼을 비교하여 광전도 메커니즘을 분석하였다. 밴드갭과 일치하는 빛 에너지에 의해 생성된 캐리어들은 광전도에 기여하지 못하고 재결합하여 발광하는 것을 확인할 수 있었다. 그리고 산소공극이 트랩 역할을 하여 광응답의 감쇠속도를 느리게 하는 것을 확인하였다.

[참 고 문 헌]

- [1] Y. Takahashi, M. Kanamori, A. Kondoh, H. Minoura and Y. Ohya, Jpn. J. Appl. Phys. Vol. 33, p. 6611, 1994.
- [2] R. J. Collins and D. G. Thomas, Phys. Rev. Vol. 112, p. 388, 1958.
- [3] C. H. Seager and S. M. Myers, J. Appl. Phys. Vol. 94, p. 2888, 2003.
- [4] T. Koida, S. F. Chichibu, A. Uedono, A. Tsukazaki, M. Kawasaki, T. Sota, Y. Segawa and H. Koinuma, Appl. Phys. Lett. Vol. 82, p. 532, 2003.
- [5] P. Sharma, K. Sreenivas and K. V. Rao, J. Appl. Phys. Vol. 93, p. 3963, 2003.
- [6] H. Kind, H. Yan, B. Messer, M. Law and P. Yang, Adv. Mater. Vol. 14, p. 158, 2002.
- [7] J. Lee, K. Park, M. Kang, I. W. Park, S. W. Kim, and S. Kim, J. Cryst. Growth, Vol. 254 p. 423, 2003.