

ZnO, GaN 나노선 네트워크의 전기적 특성 연구

안승언, 강병현, 김강현, 장유진, 피성훈, 김남희, 이종수, 김상식, 김규태
고려대학교 대학원 전기공학과

Electrical characteristic of ZnO, GaN nanowire network

Seung-Eon Ahn, Byung-Hyun Kang, Kang-Hyun Kim, Yu-Jin Chang, Sung-Hoon Pieh, Nam-Hee Kim,
Jong-Su Lee, Sang-Sig Kim, Gyu-Tae Kim
Department Of Electrical Engineering, Korea Univ.

Abstract

합성된 GaN, ZnO 나노선 네트워크를 이용하여 전류-전압 특성을 조사하고 정류성 특징을 가지는 나노선네트워크에 대해서는 다이오드의 이상지수를 측정하여 기존의 다이오드의 특성과 비교 분석하고 간단한 광 특성 측정을 하여 광전소자로서의 가능성도 확인해 보았다.

Key Words : Nanowire, ZnO, GaN

1. 서 론

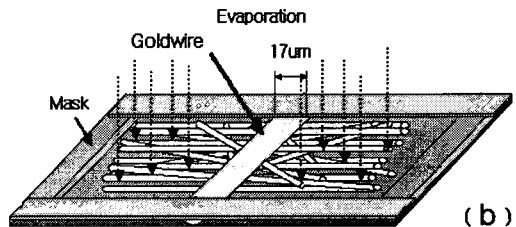
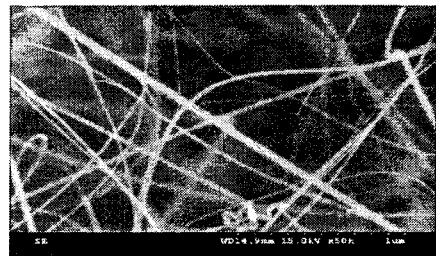
합성 나노선에 대한 응용에 관한 연구는 1991년 Iijima에 의해 탄소나노튜브가 발견된 이래 활발히 진행되고 있다[1]. 하지만 현재까지는 크기가 작아지면서 기존의 소자와 다른 여러 가지 현상에 대해 경우에 따라 다르게 해석하는 경우가 많으며 정성적으로나 정량적으로 바로 접근한 논문은 부족한 실정이다. 이러한 문제점들을 해결하기 위해 나노선에서 일어나는 전기전도현상을 이론적, 실험적으로 정립하고 기존 벌크 소자와의 차이점에 대해서 분명히 해야 한다. 와이드 밴드 갭 화합물 반도체의 일차원 구조 물질로서의 연구는 나노광전소자, 나노전자소자로서의 응용 가능성으로 많은 연구가 진행되고 있으며 지금까지 Si, Ge [2], GaN [3, 4], MgO [5], SnO, ZnO [6], Ga₂O₃ [7], TiO₂ 같은 물질이 개발되었다. 본 연구에서는 위에 언급한 물질 중 GaN와 ZnO 나노선 네트워크 형태에서의 전기전도 특성과 광전자 특성을 살펴보고 광전소자로서의 가능성도 함께 고찰해 보았다.

2. 실험

2.1 실험 방법

실리콘(SiO₂)기판과 알루미늄(Al₂O₃)에 각각 성장시킨 ZnO, GaN 나노선 네트워크위에 금속으로

만든 마스크(mask)를 위에 놓고 Thermal CVD(Cheical Vapor Deposition) 방법에 의해서 금(Au) 500 Å을 증착시켜서 나노선 네트워크위에 전극을 형성시켰다.(그림 1-b) 이때 마스크와 나노선 네트워크 사이에 얇은 금선(17µm)을 넣어서 전극형성을 용이하게 했다. 완성된 시료의 양단에는 Silver paste를 이용하여 금선을 이어서 전압을 인가할 수 있도록 했다.(그림 1-c)



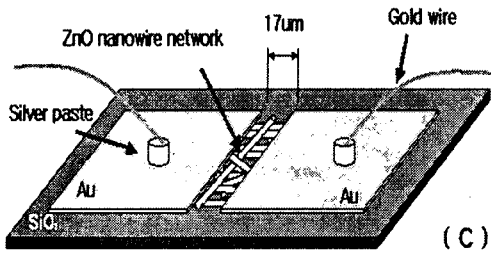


그림 1. a) ZnO SEM 이미지, b) 전극 형성 과정, c) Au 전극이 형성된 나노선 네트워크 소자.

상온에서 전압을 -1V에서 1V까지 증가시키면서 나노선을 통해 흐르는 전류의 변화를 측정하였고 정류성 특성이 나타나는 시료에 대해서는 다이오드로서의 이상지수를 알아보았다. 또한 일반적으로 많이 사용되는 파장 620nm의 LASER가 비취질 때의 광전류를 측정했고 그에 대한 이상지수도 구해 보았다. 측정시 Labview 프로그램과 DAQ, 5182 Preamp를 사용하였다. 측정방법은 Labview 프로그램을 이용하여 시료 양단의 전압을 -1V에서 1V까지 왕복하여 증가, 감소시켰고 시료를 통해 흐르는 전류는 Preamp로 입력되고 전압으로 변환된 값은 다시 DAQ 입력단자로 들어가게 하여 프로그램상에서 전류값으로 환산하도록 하였다. (그림 2)

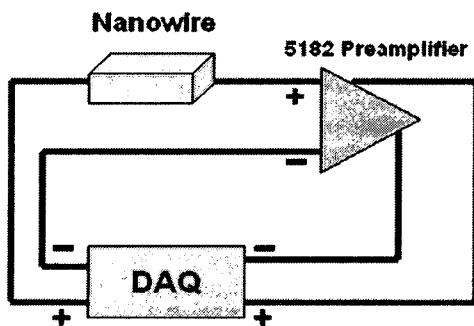


그림 2. 측정 연결도.

2. 2 결과 및 고찰

GaN와 ZnO 나노선 양단에 전압을 -1V에서 1V까지 왕복해서 증가, 감소시키면서 전류-전압특성을 측정한 결과 GaN는 비교적 큰 전류가 대칭적

으로 나타남을 볼 수 있었고 ZnO는 μA 단위의 전류가 흐르는데 정류특성이 나타남을 볼 수 있었다. (그림 3, 4)

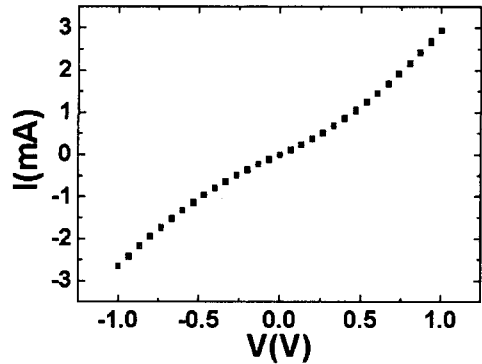


그림 3. GaN의 I-V 곡선.

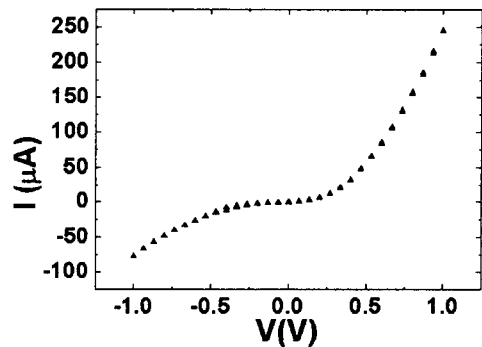


그림 4. ZnO의 I-V 곡선.

ZnO의 비대칭적인 I-V 곡선에서 볼 수 있듯이 나노선의 접합이 같은 물질로 되어있지만 양 접합 특성이 다르다는 것을 알 수 있다. 이것을 확인해 보기 위해서 양단에 인가해주는 전압의 극을 바꾸어 측정하여 본 결과 전압-전류 특성이 같이 반전됨으로써 정류 특성곡선이 비대칭적인 접합의 형성에 기인함을 알 수 있다.(그림 5) 그림 5.에서 알 수 있듯이 ZnO의 I-V곡선을 보면 다이오드 특성 곡선과 유사하며 이에 다이오드로서의 이상특성을 분석해 보았다.

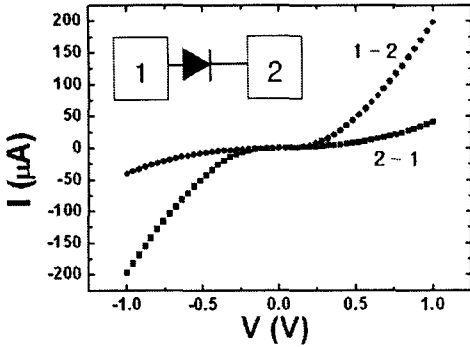


그림 5. 양단에 걸여준 극을 바꾸어서 측정된 결과.

이상적인 다이오드라면 전류-전압특성곡선의 다이오드의 일반식 $I = I_0 \exp\left(\frac{qV}{\eta kT}\right) [1 - \exp\left(-\frac{qV}{kT}\right)]$ 을 따르고 이상지수 η 가 1이 될 것이다[8]. 여기서 I_0 는 역포화 전류를 나타내며 η 는 이상지수를 나타낸다. 일반적인 다이오드의 전류와 전압의 관계식에서 $qV \gg k_B T$ 를 만족하는 고전압에서는 $I \approx I_0 \exp\left(\frac{qV}{\eta kT}\right)$ 로 근사해서 사용할 수 있다. $k_B T (T=300K) = 1/40$ eV이므로 전압이 약 0.3 V만 되어도 근사식을 사용할 수 있다.

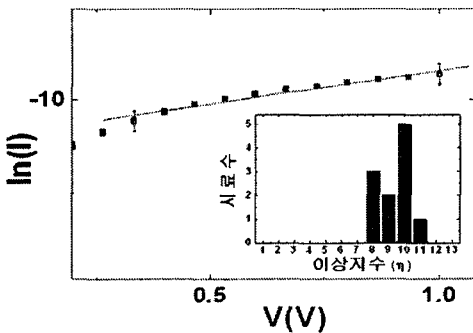


그림 6. $\frac{q}{\eta kT}$ 의 값과 이상지수 분포도.

그림 6에서는 기술키가 3.57이었고 η 값을 계산해본 결과 10.8 이었다. 또한 총 11개의 정류성 접합 특성을 보여주는 시료에 대해 위 식들을 이용하여

이상지수 값을 얻은 결과 그림 7의 삽입된 그림과 같이 10 안팎의 값을 가져서 이상적인 쇼트키 다이오드가 가져야 할 1~2값보다 많이 차이가 남을 확인할 수 있었다. 정류성 특성을 보여주는 ZnO 나노선 네트워크에 파장 620nm(2.0eV)의 레이저를 주사했을 때 전류 전압 특성을 관측해 보았는데 레이저를 주사하지 않고 측정했을 때보다 더 많은 양의 전류가 흐름을 알 수 있었다. ZnO는 와이드 밴드갭(상온에서 3.37 eV) 화합물 반도체로서 직접 천이형 밴드갭 구조를 가지고 있다. 그림 7은 빛을 비추어 준 결과와 그렇지 않은 때의 결과를 함께 보여준 결과이다. 그림 7의 상단그림은 순수 광전류 값만 가해진 전압에 대해 보여주는데 전압이 커질수록 증가량이 더 커지는 것을 볼 수 있다. ZnO 반도체는 격자 내에서 산소 원자가 결핍되면 전기적으로 n형 특성을 가지는데 합성된 ZnO 나노선의 단위 부피당 표면적이 크기 때문에 산소 원자들의 결핍으로 인한 Impurity doping 현상이 나타나고 높은 결합특성을 가진다. 이로 인해 ZnO의 spectrum을 보면 3.37eV 외에 2.376eV에서 높은 피크를 보여주고 있고 2.0eV에서도 약하지만 반응이 있음을 보여 주고 있어서 620nm의 파장으로도 전자가 여기 될 수 있음을 증명 해주고 있다 [9].

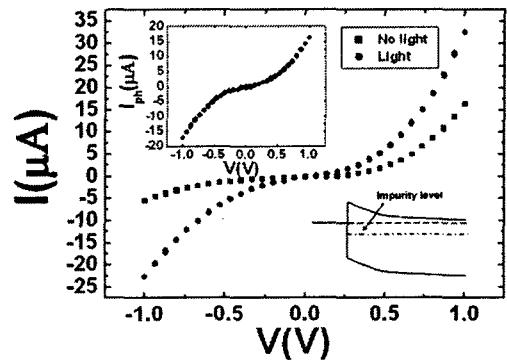


그림 7. 시료에 아무 처리 없이 측정된 값과 빛(파장 620nm)을 비추어 주었을 때 측정된 결과. 전류의 증가분(좌측상단), 에너지 band gap(우측하단).

그림 8의 우측 하단 그림에서는 불순물 도핑(doping)으로 인한 impurity level에서 conduction band로 전자가 여기 될 수 있음을 보여주고 있다. 실험 중 우연하게 ZnO시료에 10V 정도의 전압이 갑자기 인가되고 난 후에 전류 전압 특성은 그림 9에서 보는 바와 같이 대칭성을 가지게 되었고 무엇보다도 전류가 크게는 약15배 커졌다. 이러한 현상은 접합 부분에 순간 큰 전압이 인가되어 Electro migration defect이 생기면서 그림 9의 우측 하단 그림과 같이 conduction band가 Fermi level 보다 아래로 내려가게 되어 전자의 축적 층이 생겨 얇은 tunneling barrier에 의한 음성 접합이 이루어지는 것으로 추측된다.

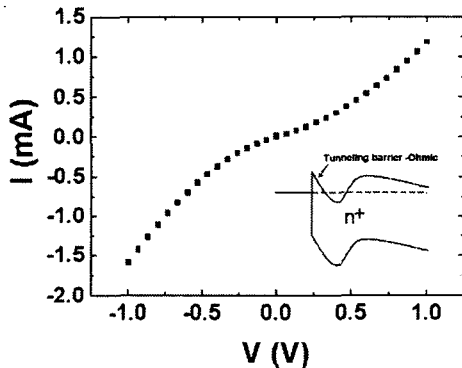


그림 8. 특성 변화 후의 ZnO 전류-전압 곡선.

3. 결론

본 연구에서는 합성된 GaN, ZnO 나노선 네트워크를 이용하여 전류-전압 특성을 조사하여 나노선들이 정류성 특징을 가지고 있음을 확인했다. 또한 빛에 대해 반응하여 전압에 대한 전류의 양이 증가함을 알 수 있었다. 분석 결과 나온 다이오드 이상지수는 다이오드로서 이상적인 값과는 아직 멀지만 접촉점에 대한 성질 연구 등 엄밀한 연구가 필요함을 보여준다.

감사의 글

본 연구는 한국과학재단 목적기초연구(R01-2002-000-00504-0) 지원으로 수행되었습니다.

참고 문헌

- [1] S. Iijima, *Nature*, **354**, 56, 1991.
- [2] A. M Morales and C. M. Lieber, "A laser ablation method for the synthesis of crystalline semiconductor nanowires", *Science*, Vol. **279**, 208, 1998.
- [3] W Han, S Fan, Q Li, and Y Hu, "Synthesis of Gallium Nitride Nanorods Through a Carbon Nanotube-Confined Reaction" *Science*, Vol. **277**, 1287, 1997.
- [4] J. Y. Li, X. L. Chen, Z. Y. Qiao, Y. G. Cao, and Y. C. Lan, "Formation of GaN nanorods by a sublimation method", *J. Cryst. Growth*, Vol. **213**, 408, 2000
- [5] P. Yang and C. M. lieber, "Nanostuctured high-temperature superconductor: creation of strong-pinning columnar defects in nanorod superconductor composites", *J. mater. Res.* Vol. **12** No.11, 2981. 1997
- [6] Z. W. Pan, Z. R. Dai, and Z. L. Wang "Nanobelts of Semiconducting Oxides " *Science*, Vol. **291**, 1947, 2001.
- [7] M. H Huang, Y. Wu, H. Feick, N. Tran, E. Weber, and D. Yang, "Catalytic growth of zinc oxide nanowires by vapor transport", *Adv. Mater*, Vol. **13**, 113, 2001
- [8] E. H. Rhoderick, "*Metal-semiconductor contacts*", Clarendon Press, Oxford, 1978.
- [9] K. S. Park, J. S. Lee, M. L. Kang, M. Y. Sung, S. S. Kim. "Synthesis of ZnO Nanowires and their Characteristic Properties". *J. of KIEEME*, Vol.15, No. 8, 651, 2002