

## 에칭에 따른 단일 나노선의 전압-전류 특성 변화

임찬영, 김강현, 원부운, 강해용\*, 김규태, 김상식, 강 원\*\*

고려대 전기공학과, 고려대 BK21 정보기술사업단\*, 이화여대 물리학과\*\*

### Voltage-Current Characteristics of a Single Nanowire with an Etching process

Chanyoung Yim, Kanghyun Kim, Boone Won, Haeyong Kang\*, Gyutae Kim, Sangsig Kim, and Won Kang\*\*

Department of Electrical Engineering, Korea University

Korea University BK21 Information Technology\*

Department of Physics, Ewha Women's University\*\*

#### Abstract

화합물 반도체 단일 나노선의 에칭 효과를 보기 위하여 에칭 용액과 시간을 달리하면서 전류-전압 특성을 측정하였다. 측정을 위한 단일 나노선 소자는 Electron beam lithography를 이용하여 전극을 top contact 방식으로 만들었다. 에칭은 식각과정에서 현상된 상태의 패턴에서 수행하며 금속 전극과 나노선 접합 부분만을 에칭 하였다. 에칭용액은 Buffered Oxide Etchant(BOE)을 이용하였으며 에칭 시간은 수 십 초에서 수 십분까지 다양하게 하였다. 전압-전류 특성 측정결과에서 에칭 용액과 에칭 시간에 따라 전류가 증가하는 것을 확인 할 수 있었다. 이러한 효과는 나노선 외곽에 비정질 산화층의 제거 효과로 인한 것으로 설명할 수 있다.

**Key Words** : etching, GaN nanowire, SnO<sub>2</sub> nanowire, voltage-current characteristics

#### 1. 서 론

지난 수십 년간 반도체 소자의 집적 기술은 눈부신 발전을 거듭하여 왔으며 최근에 이르러서는 수십 나노미터의 식각기술까지 가능한 수준에 이르게 되었다. 그러나 이러한 집적도의 증가는 조만간 소자의 물리적 혹은 고전적인 설계 규칙의 한계에 도달하게 되어 더 이상의 발전이 어려워질 것으로 전망된다[1, 2]. 이런 한계를 극복하기 위한 대안으로 최근 소자 제작 방법에서 기존의 top-down 방식이 아닌 단일 나노선을 성장시켜 합성된 나노선을 이용하여 소자를 제작하는 bottom-up 방식에 대한 연구가 지속적으로 이루어지고 있다[3]. 특히 GaN, SiC, ZnO, SnO<sub>2</sub>와 같은 화합물 반도체를 이용한 나노선은 광소자 및 전자소자, 그리고 각종 센서 등 그 잠재적 활용 가능성

이 매우 뛰어나다[4]. 화합물 반도체 단일 나노선을 소자로써 활용하기 위해서는 나노선의 기본적인 전기적 특성을 파악하는 것이 선행되어야 하며, 이를 위해서 지금까지 많은 실험들이 진행되었다. 그러나 단일 나노선 소자 제작이 어려울 뿐 아니라 반도체 나노선과 금속 전극 접합에서 생기는 쇼트키 접합의 영향, 그리고 비정질 산화층의 영향으로 인해 단일 나노선 전기 소자의 전압-전류 특성을 측정하는 데 많은 어려움이 생기고 있다. 특히 반도체 나노선의 외곽에 형성된 비정질 산화층은 나노선과 금속 전극 사이의 음성 접합 형성을 방해할 뿐 아니라 접촉저항이 매우 큰 값(~1MΩ)을 갖도록 영향을 준다. 1차원 전류 전도가 일어나는 단일 나노선의 경우 매우 적은 양의 전류가 나노선을 통해서 흐르게 되는데, 이때 비정질 산화층 때문에 생긴 높은 접촉저항 성분은 나노선과 전극

사이의 실제 전압 차이보다 훨씬 더 큰 noisy voltage signal을 발생시킬 수도 있다. 이와 같은 나노선 표면에 생기는 비정질 산화층의 영향을 줄이기 위해서 etchant를 이용한 chemical etching, Focused Ion Beam (FIB) sputtering를 이용해서 산화층을 없애는 방법, 그리고 산소와 수소의 반응성을 이용하여 산화층을 없애는 방법 등이 사용되고 있다[5]. 본 논문에서는 나노선 표면에 생성된 산화층을 etchant를 사용하여 etching 했을 때, 화합물 반도체 단일 나노선 소자에서의 전압-전류 특성이 어떻게 변하는가에 대해 살펴 볼 것이다.

## 2. 실험

본 실험에서 사용된 단일 나노선은 GaN, SnO<sub>2</sub> 두 종류로, 각각의 나노선을 적절한 용액에 분산시킨 다음 기판위에 뿌린 후 전자빔 식각 과정(Electron beam lithography)을 통해 단일 나노선 소자를 제작하였다[6]. 나노선을 뿌리기 위한 기판으로는 도핑된 실리콘 기판위에 산화실리콘 막이 300nm 두께로 올라가 있는 기판을 사용하였고, 기판위에 무질서하게 뿌려진 나노선 가운데 임의의 나노선을 선택하여 전자빔을 이용하여 전극을 패터닝하였다.

전체적인 전자빔 식각 과정을 살펴보면, 먼저 준비된 기판위에 적절한 농도로 분산시킨 나노선 용액을 뿌린 후 나노선이 뿌려진 기판에 electron resist인 PMMA를 코팅한다. 코팅된 기판을 160도의 온도에서 1시간 정도 베이킹을 한 다음 전자빔 식각장치로 원하는 전극 패턴을 그린 후 인화 과정(develop)과 금속 전극의 증착, 그리고 lift-off 과정을 통해서 최종적으로 소자 제작이 완료된다. 제작된 단일 나노선 소자의 전압-전류 특성은 HP4140B 장비를 이용하여 측정되었다.

나노선의 표면에 형성된 비정질 산화층을 제거하기 위해서, 앞에서 설명한 전자빔 식각 과정 가운데 인화 과정을 마치고 난 후 금속 전극을 증착하기 전 단계에서 BOE (Buffered Oxide Etchant)를 사용하여 금속 전극과 나노선의 접합부분에 wet etching을 실시하였다. 이때 여기서 사용한 etching 용액은 실리콘 반도체 공정에서 일반적으로 쓰이는 BOE로써 HF와 NH<sub>4</sub>F의 1:30 혼합 용액을 사용하였다. 또한 etching 효과를 살펴보기 위

하여 대조군으로 금속 전극과 나노선 접합부분에 etching을 하지 않고 제작한 소자의 전압 전류 특성도 함께 측정하였다.

## 3. 결과 및 고찰

그림1은 GaN 나노선을 이용하여 전극을 패터닝한 이미지와 각각의 나노선에 대한 전압 전류 특성을 측정한 결과이다. 그림 1의 (a)는 전자빔으로 전극 패턴을 그린 후 인화과정(develop)을 거쳐 etching을 하지 않고 곧바로 Au 100nm 두께의 금속전극을 열증착(thermal evaporation) 방법으로 증착시킨 후 lift-off 과정을 통해 제작한 소자에 대한 전류 전압 측정 결과를 나타내고 있으며, (b)는 인화 과정 후 전극과 나노선의 접합 부분을 BOE로 1분 30초 동안 wet etching한 다음 Au 전극을 증착한 시료에 대한 전압 전류 특성을 보여주고 있다. 그림에서 알 수 있듯이 etching을 하지 않은 소자의 경우, 소자에 전류가 처음 흐르기 시작하는 전압이 ±3V인데 비해 나노선을 etching한 소자에서는

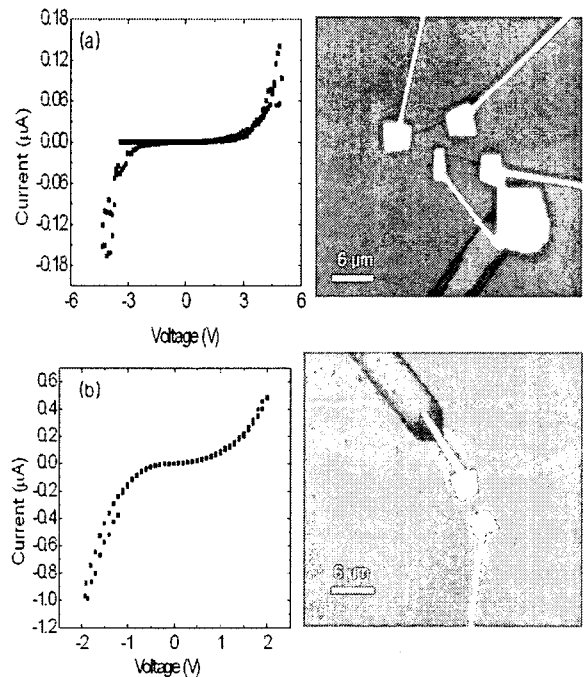


그림 1. GaN 단일 나노선 소자의 광학현미경 사진 및 각 소자의 전압-전류 특성 곡선. (a) BOE etching을 하지 않은 나노선에 금속전극을 증착한 소자 (b) 1분 30초 동안 BOE etching을 한 나노선에 금속전극을 증착한 소자

$\pm 1V$  근처의 전압을 걸어주었을 때부터 나노선 소자를 통해 전류가 흐르기 시작함을 관찰할 수 있었다. 또한 각 소자에 흐르는 전류량을 살펴보면 etching을 안 한 경우보다 했을 경우가 나노선을 통해 흐르는 전류량이 10배 이상 더 많음을 알 수 있다.

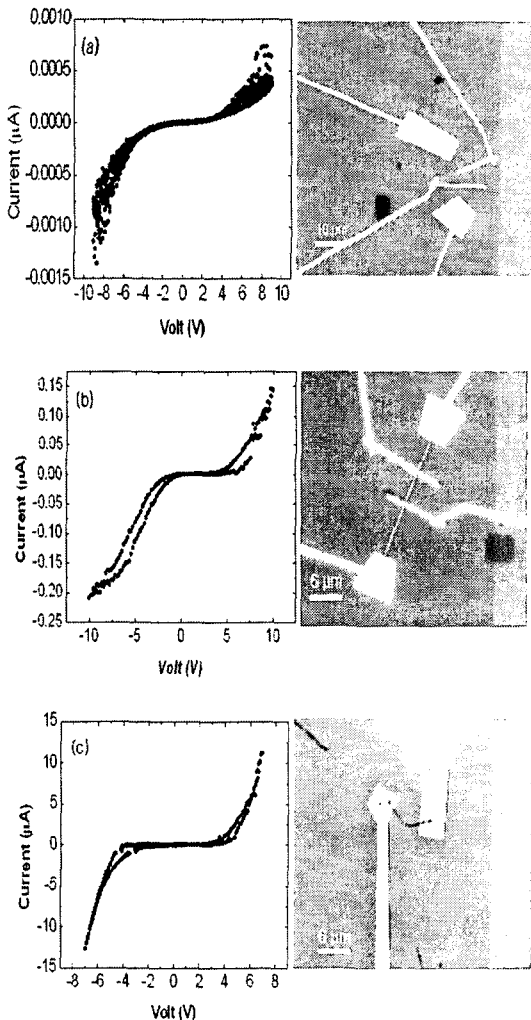


그림 2. SnO<sub>2</sub> 단일 나노선 소자의 광학현미경 사진 및 각 소자의 전압-전류 특성 곡선. (a) BOE etching을 하지않은 나노선에 금속전극을 증착한 소자 (b) 1분 동안 BOE etching을 한 나노선에 금속전극을 증착한 소자 (c) 10분 동안 BOE etching을 한 나노선에 금속전극을 증착한 소자

그림 2는 SnO<sub>2</sub> 나노선을 이용하여 전극 패턴을 한

것이다. 다양한 모양의 패턴이 잘 형성된 것을 알 수 있다. 각각의 소자는 GaN 나노소자의 경우와 마찬가지로 인화과정 직후 나노선과 전극의 접합 부분에 대해 각각 (a) etching을 안하고 Au 전극을 증착한 것, (b) BOE 용액으로 1분 wet etching을 한 후 Au 전극을 증착한 것, (c) BOE 용액으로 10분 wet etching을 한 후 Au 전극을 증착한 것을 나타낸다. Etching을 하지 않은 소자 (a)와 같은 패턴에서는 전류가 수 나노암페어(nA) 정도로 작은 것을 볼 수 있으며 전류 곡선 자체도 불안정한 것을 알 수가 있다. 그림 (b)는 1분 동안 BOE 용액으로 etching을 거친 패턴으로 전류는 etching을 하지 않은 소자(a)와 비교해서 전류가 10배 이상 증가한 것을 알 수 있었다. BOE 용액으로 10분 동안 etching한 패턴 (c)는 패턴 (b)와 비교하면 약 100배정도 전류가 증가한 것을 알 수가 있으면 전압-전류 특성 또한 (a)와 (b)보다 깨끗이 나온 것을 알 수 있었다. 전체적으로 소자의 모양 차를 고려하더라도 etching 시간이 증가 할수록 소자에 흐르는 전류 값이 더 크게 나오는 경향을 확인할 수 있었다.

#### 4. 결론

앞에서 전자빔 식각방법을 통해 화합물 반도체 단일 나노선인 GaN와 SnO<sub>2</sub>의 나노선에 금속 전극을 패터닝하여 각 나노선들의 전압-전류 특성을 측정해 보았다. 특히 소자 제작 과정에서 나노선 표면에 형성되는 비정질 산화층이 나노선의 전압-전류 특성에 어떤 영향을 주는 지 알아보기 위해서, 각각의 나노선에 금속 전극을 증착하기 직전에 금속 전극과 접합되는 부분을 oxide etchant로 etching을 한 후 금속 전극을 증착하여 소자의 전기적 특성을 조사해 보았다. 그 결과 etching을 실시한 후 제작한 소자가 그렇지 않은 경우보다 전압-전류 특성이 훨씬 안정적으로 나왔으며, 나노선에 흐르는 전류량도 수십 배에서 크게는 수 백 배까지 개선된 것을 확인할 수 있었다. 이를 통해 반도체 나노선의 표면에 생기는 비정질 산화층이 나노선의 전기전도 특성에 매우 큰 영향을 줄 수 있다는 사실을 확인할 수 있었다. 이것은 나노선 표면의 산화층이 나노선과 금속 전극과의 접합사이에서 하나의 층을 형성함으로써 접촉 저항 성분을 증가시켜 나노선에서의 전류흐름을 방해하는 성분

으로 작용하기 때문이라고 사료된다. 따라서 어떤 하나의 나노소자의 전기적 특성을 정확하게 파악하기 위해서는 비정질 산화층의 영향을 최대한 줄인 상태에서 측정을 해야만 한다. 이와 같은 비정질 산화층의 영향을 줄이기 위한 하나의 방법으로 BOE와 같은 적절한 etchant를 사용하여 나노선 표면의 산화층을 etching하는 것이 효과가 있음을 이 실험을 통해서 알 수 있었다.

### 감사의 글

이 논문은 2002년 한국학술진흥재단의 지원에 의하여 연구되었음 (KRF-2002-042-C00017).

### 참고 문헌

- [1] <http://www.intel.com/research/silicon/mooreslaw.htm>
- [2] James D. Meindl, Qiang Chen, and Jeffrey A. Davis, "Limits on Silicon Nanoelectronics for Terascale Integration", Science, Vol. 293, p.2044 2001.
- [3] Xiangfeng Duan, Yu Huang, and Charles M. Lieber, "Nonvolatile Memory and Programmable Logic from Molecule-Gated Nanowires", Nano Lett. Vol.2, No.5, p. 487, 2002.
- [4] 안승언, 강병현, 김강현, 장유진, 피성훈, 김남희, 이종수, 김상식, 김규태, "ZnO, GaN 나노선 네트워크의 전기적 특성 연구", 전기전자학회논문집, 4권, 1호, p. 67, 2003.
- [5] Stephen B Cronin<sup>1</sup>, Yu-Ming Lin, Oded Rabin, Marcie R Black, Jackie Y Ying, Mildred S Dresselhaus, Pratibha L Gai, Jean-Paul Minet and Jean-Paul Issi, "Making electrical contacts to nanowires with a thick oxide coating", Nanotechnology, Vol.13, p. 653, 2002.
- [6] 김강현, 임찬영, 원부운, 김규태, "전자빔을 이용한 단일 나노선상 선택적 패터닝방법", 한국전기전자재료학회 2004 하계학술대회 논문집 Vol.5, No.1, p. 44, 2004.