

전자빔을 이용한 단일 나노선상 선택적 패터닝 방법

김강현, 임찬영, 원부운, 김규태*

고려대 전기공학과*

Method of selective electron beam patterning on a single nanowire.

Kanghyun Kim, Changyoung Yim, Boone Won, Gyutae Kim*

Department of Electrical Engineering, Korea University*

Abstract

단일 나노선 연구에 있어서 나노선에 원하는 패턴을 선택적으로 구현하는 새로운 방법을 소개한다. 기존에 많이 쓰였던 SEM(Scanning Electron Microscope) 사진을 통한 나노선의 위치를 찾는 방법은 전자빔에 의해 유도되는 비결정성 탄소입자 등으로 인해 측정하고자하는 나노선의 전기적 특성을 왜곡시킬 수 있다. 이러한 점을 예방하고 작업의 편리성을 위하여 ER(E-beam Resist)이 코팅된 상태에서 바로 SEM을 이용해 패터닝하는 방법을 고안하였다. 또 다른 방법으로 기존의 AFM(Atomic Force Microscope) 사진으로 위치를 찾는 방식의 단점인 긴 작업시간을 개선하기 위해 광학현미경 사진을 이용해 패터닝하는 방법을 고안하였다. 이러한 방법들은 작업의 편리성이나 패턴의 정확도면에서 서로 보완적인 성격을 가지고 있어 필요에 따라 방법을 선택할 수 있다.

Key Words : lithography, nanowire

1. 서 론

20세기 후반부터 본격적으로 발전된 반도체 기술로 현재의 수십 나노미터의 식각기술까지 가능하게 되었다. 현재는 이러한 소자의 크기에 대한 발전뿐만 아니라 새로운 재료에 대한 관심과 연구가 활발히 이루어지고 있다[1,2,3]. 특히 나노선으로 쓰이는 재료로는 탄소나노튜브, 다양한 화합물반도체 나노선, 실리콘 나노선과 같이 그 종류를 다 나열하지 못 할 정도로 다양하다. 이러한 다양한 나노선의 합성은 결과적으로 연구단계에서 단일 나노선을 이용한 소자제작과 그 특성을 쫓 수 있는 기술의 필요성을 가져왔다[4,5]. 이러한 연구단계의 소자를 만들고 테스트하기 위해서는 식각기술의 최소 선폰이 수백에서 수 나노미터까지 가능해야 하며 무질서하게 놓여진 임의의 단일 나노선에 정확히 원하는 모양의 패턴을 할 수 있는 기술 또한 필요하다. 우선 현재 거론되고 있는 식각기술 중에 나노소자

에서 원하는 크기의 패턴을 만들 수 있는 방법으로 EUV (extreme ultraviolet) lithography와 X-ray, ion-beam, e-beam 등 여러 가지가 연구되고 있다. 이러한 기술의 연구는 대부분 산업적인 대량생산을 위한 목적으로 연구가 이루어지고 있으며 장비 또한 상당히 고가이다. 하지만 연구실 단계에서 나노소자의 구현을 위해서는 생산성보다는 우리가 원하는 임의의 단일 나노선에 정확히 원하는 어떠한 모양의 패턴이라도 가능하게 하는 것이 중요한 기술 과제이다. 본 논문에서 소개하는 패턴 방법은 이러한 문제점을 해결하고 발전시키기 위한 효과적인 방법이 될 수 있을 것이다.

2. 실험

본 연구에서는 기판 위에 무질서하게 뿌려진 나노선중 임의의 나노선을 선택하여 원하는 패턴을 전자빔을 이용하여 패터닝하였다. 본 연구에서 사용된 전자 빔 식각장비는 JEOL의 JSM6460 모델의

SEM(Scanning Electron Microscope), Deden의 beam blanker와 Raith의 전자빔 제어 장비 Elphy plus로 이루어져 있다.

나노선을 뿌리기 위한 기판으로는 게이트로 쓰기 위해 도핑된 실리콘 기판에 산화실리콘 막을 300 nm정도 표면에 형성 시켰다. 이 실리콘 기판에 적당한 농도로 분산시킨 나노선 용액을 뿌린다. 나노선이 뿌려진 기판에 electron resist인 950k PMMA 코팅하여 160도의 핫플레이트에 1시간정도 베이킹 하였다. 전자빔 식각장치로 원하는 패턴을 그린 후 인화과정과 증착, lift off 과정을 거치면서 최종 패턴이 완성된다. 본 논문에서 소개할 전자빔 식각의 전체적인 과정은 이상과 같다. 임의의 나노선에 패턴을 하기 위한 방법은 아래와 같이 크게 세 가지 방법이 있다. 이러한 방법은 나노선의 크기에 따라 선택되어 질수도 있고 패턴의 여러 다른 목적에 맞게 선택할 수도 있다.

2.1 SEM을 이용한 실시간 직접 패턴 방법

단일 나노선 패턴을 간편하게 하기 위해서 나노선을 직접 SEM (Scanning Electron Microscope)으로 관찰하여 위치를 파악한 후 패턴을 하는 방식을 취한다. 하지만 이러한 방법은 요즘 많이 제기되고 있는 전극과 나노선의 접촉저항 문제나 SEM 관찰시 나노선에 생기는 오염 등의 문제들을 발생시킬 수 있다[6]. 이러한 문제점을 없애기 위하여 나노선을 SEM으로 찾기 전에 미리 PMMA(polymethylmethacrylate)를 코팅하여 SEM으로 관찰하는 방법을 고안하였다. 이 방법은 기판 위에 나노선을 뿌린 후 PMMA를 코팅하고 그림 1. (a)에서와 같이 적당한 나노선을 SEM으로 찾아 이미지를 저장해 나노선의 위치를 파악한다. 그 다음으로 그림 1. (b)처럼 원하는 나노선 이미지와 직접 고안된 디자인 프로그램을 이용하여 원하는 패턴 모양을 그린다. 이렇게 그려진 패턴 디자인을 이용하여 실시간으로 바로 전자빔을 이용하여 패턴을 PMMA에 전사시킬 수 있으며, 그림 1. (c)에서와 같은 최종적인 패턴 결과를 얻을 수 있다. 이러한 방법의 장점은 원하는 패턴을 원하는 곳 어디에나 원하는 배율로 실시간으로 바로 패턴을 할 수 있다는 것이다. 그러나 이 방법은 나노선 위에 코팅된 부도체 PMMA가 전자를 흡수하기 때문에 나노선 이미지를 얻는데 한계가 생기는 단점이 있다.

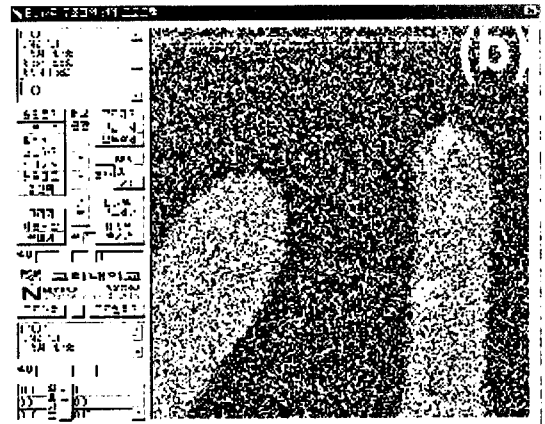
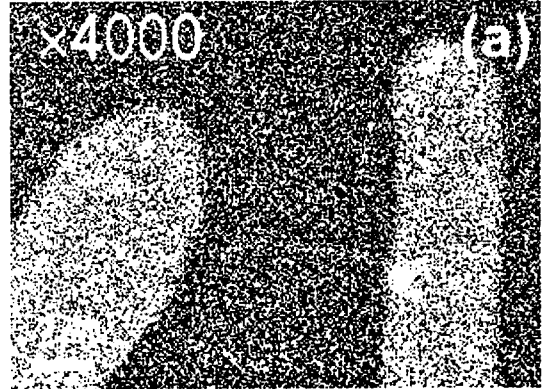


그림 1. SEM을 이용한 실시간 직접 패턴닝.

2.2 광학현미경 이미지를 이용한 패턴 방법

이 방법은 기판에 미리 만들어진 마커를 이용하여 나노선의 위치를 파악하는 방법이다. 그림 2. (a)처럼 미리 마커가 있는 기판을 만든 후 이 기판에 적당한 농도로 분산된 나노선을 뿌린 후 그림 2. (a)와 같이 원하는 나노선 이미지를 광학현미경을 이용하여 얻는다. 이렇게 나노선의 위치가 찍힌

이미지와 디자인 프로그램을 이용하여 그림 2. (b)처럼 원하는 패턴을 설계한다. 결과적으로 그림 2. (c)와 같은 패턴을 손쉽게 얻을 수 있다. 이러한 방법의 장점은 수십 나노미터의 나노선을 손쉽게 패터닝할 수 있다는 것이다.

2.3 AFM 이미지를 이용한 패터닝 방법

AFM (Atomic Force Microscope) 이미지를 이용한 방법은 앞에서 설명하였던 광학 현미경을 이용한 방법과 유사하다[7,8]. 미리 전자빔을 이용해 패터닝 좌표가 있는 기판에 나노선을 뿌린다. 좌표를 이용하여 나노선의 상대적인 위치를 알 수 있는 AFM 이미지를 얻은 후 광학현미경을 이용한 방법처럼 디자인 프로그램을 이용하여 원하는 패턴을 디자인한 후 전자빔 작업을 하면 된다. 이 방법은 AFM 이미지를 얻어야 하기 때문에 총 작업 시간이 길어진다는 단점은 있으나 수 나노미터까지의 나노선에 정확하게 패터닝을 할 수 있다는 장점이 있다.

3. 결과 및 고찰

그림 1과 2에서 볼 수 있듯이 모든 패턴이 원하는 위치에 잘 만들어진 것을 볼 수 있다. 그림 1에서는 이단자 패턴, 그림 2에서는 4단자 패턴이 잘 형성된 것을 알 수 있다. SEM을 이용한 방법은 약 백 나노미터, 광학현미경을 이용한 방법은 수십 나노미터, AFM을 이용한 방법은 수 나노미터 정도의 나노선에 패턴을 할 수 있으며 정확도면에서도 같은 경향성을 가진다. 다른 면에서 살펴보면 현미경을 이용한 방법은 작업의 편리성, SEM을 이용한 방법은 작업의 다양성이라는 측면에서 각각의 장점이 있다. 그림 3은 위에서 소개한 패턴 방법을 이용하여 약 100nm 정도의 다중접탄소나노튜브(MWCNT)에 이단자 패턴을 하여 전류-전압(IV) 특성을 측정한 결과이다. 실험결과 패턴이 잘 형성된 것을 확인할 수 있었으며 IV 측정결과는 완전히 ohmic하여 32kΩ 정도의 저항을 갖는 것을 확인할 수 있었다. 이러한 실험결과를 통하여 패턴에 접촉 저항 문제 또한 크게 없다는 것을 확인할 수 있었다.

4. 결론

앞에서 소개한 세 가지 방법, 즉 SEM을 이용한

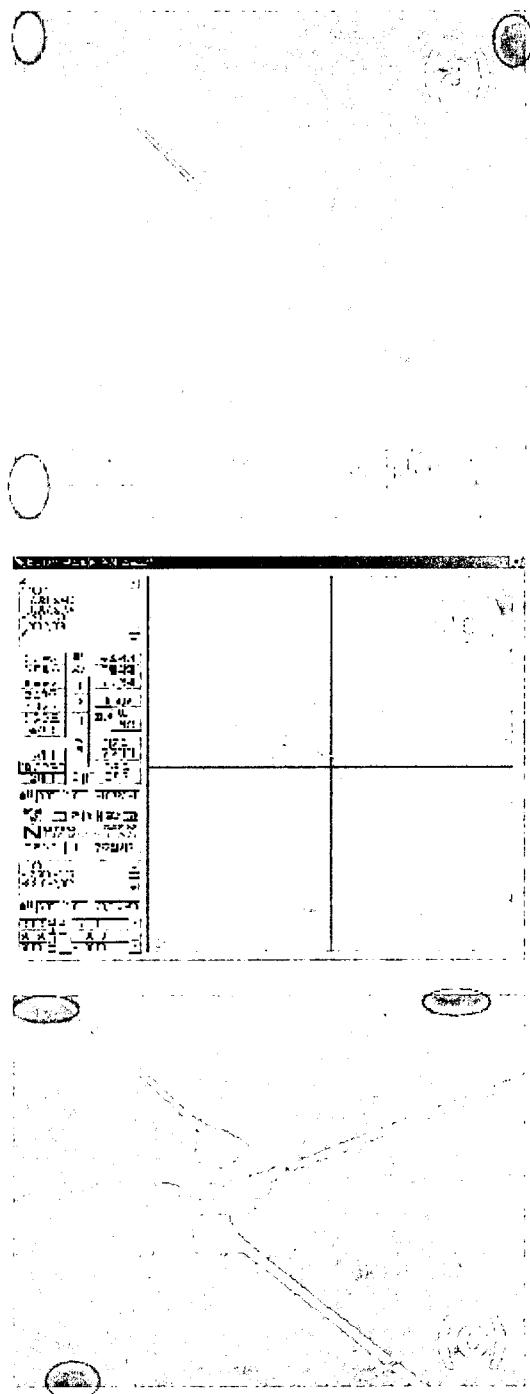


그림 2. 광학현미경 이미지를 이용한 패터닝 방법.

방법은 약 백 나노미터 정도, 광학현미경은 수십 nm, AFM은 수 nm 의 나노선에 패턴을 할 수 있다. 정확도 면에서도 AFM이 가장 앞선다. 하지만

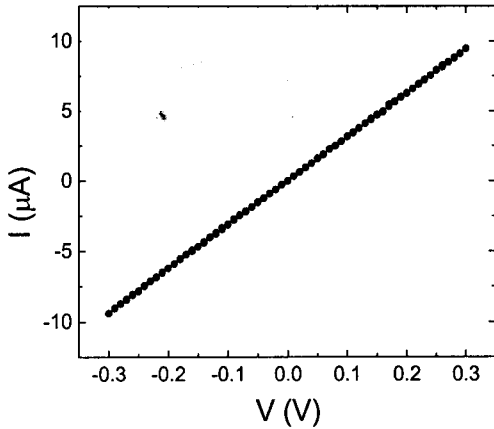


그림 3. 단일 MWCNT 패턴과 IV 측정결과.

광학현미경을 이용한 방법은 작업의 편리성 면에서 장점이 있으며 SEM을 이용한 방법은 작업의 편리성뿐만 아니라 어떠한 위치나 원하는 배율에서 작업할 수 있는 작업의 다양성면에서 장점이 있다. 이러한 방법들의 장단점은 서로 보완적인 경향이 있기 때문에 패턴 목적에 맞게 적절한 방법을 선택하여 쓸 수 있을 것이다.

감사의 글

이 논문은 2003년도 한국학술진흥재단의 지원에 의하여 연구되었음 (KRF-2003-042-C20017).

참고 문헌

- [1] N. J. Watkins, G. W. Wicks, Yongli Gao, "Oxidation study of GaN using x-ray photoemission spectroscopy", Appl. Phys. Lett. Vol. 75, No. 17, p. 2602, 1999.
- [2] S. J. Park, J. S. Ha, Y. J. Chang, G. T. Kim, "Time dependent evolution of vanadium pentoxide nanowires in sols", Chemical Physics Letters, Vol. 390, p. 199, 2004.
- [3] K. H. Keem, H. S. Kim, G. T. Kim, J. S. Lee, B. D. Min, K. G. Cho, M. Y. Sung, and S. S. Kim, "Photocurrent in ZnO nanowires grown from Au electrodes", Appl. Phys. Lett. Vol. 84, No. 22, p. 4376, 2004.
- [4] 강병현, 안승언, 김강현, 김남희, 피성훈, 장유진, 성만영, 김규태, "나노선 네트워크의 정류 다이오드 특성과 1/f 잡음 특성", 전기전자학회논문집, 4권, 1호, p. 270, 2003.
- [5] 안승언, 강병현, 김강현, 장유진, 피성훈, 김남희, 이종수, 김상식, 김규태, "Zno, GaN 나노선 네트워크의 전기적 특성 연구", 전기전자학회논문집, 4권, 1호, p. 67, 2003.
- [6] F. Wakaya, K. Katayama, K. Gamo, "Contact resistance of multiwall carbon nanotubes", Microelectronic Engineering Vol. 67-68, No. 1, p. 853, 2003.
- [7] G. T. Kim, G. Gu, U. Waizmann, S. Roth, "Simple method to prepare individual suspended nanofibers", Appl. Phys. Lett. Vol. 80, No. 10, p. 1815, 2002.
- [8] G. T. Kim, U. Waizmann, and S. Roth, "Simple efficient coordinate markers for investigating synthetic nanofibers", Appl. Phys. Lett. Vol. 79, No. 21, p. 3497, 2001.