전자빔패턴을 이용한 나노구조물 형성과 에칭에 따른 나노선의 모양 변화

전대영, 김혜영, 박소정, 허정환, 이형동, 임찬영, 김강현, 김규태*
고려대 전기공학과*

Fabrication of nanostructures using electron beam lithography and the morphology change of nanowire via etching processes

Daeyoung Jeon, Hyeyoung Kim, Sojeong Park, Junghwan Huh, Hyung Dong Lee, Chanyoung Yim, Kanghyun Kim, Gyutae Kim*
Department of Electrical Engineering, Korea University*

Abstract : 실리콘 기판 위에 100nm의 선폭을 갖는 선들이 일정한 간격을 가지고 연속적으로 배열되어 있는 구조를 형성시켜 보았다. PMMA가 코팅되어 있는 실리콘 기판위에 전자빔으로 패턴을 하였고, 건식에칭을 통해 구조물을 형성한 후 원자현미경으로 관찰하였다. 이러한 나노구조물의 구현은 전자빔 패터닝시에 전자빔이 실리콘 기판에 충돌할 때 나타나는 backward scattering 과 proximity 효과 등의 영향으로 인해 pitch의 크기가 작아질수록 구현하기가 쉽지 않았다. 화합물반도체 단일 나노선 소자를 제작하여 소자의 전기적 특성을 측정할 때, 나노선 표면에 있는 자연산화막은 금속전극과 나노선 사이의 전기전도특성을 저해하는 요소로 알려져 있다. 이러한 자연산화막을 제거하기 위해 나노선을 건식에칭해 보았고, 원자현미경을 통해 에칭에 따른 나노선의 모양변화를 관찰하였다.

Key Words : nanostructure, ebeam lithography, native oxide, dry etching, AFM

1. 서 론

일반적으로 전자빔 장치를 이용해 실리콘 기판위에 미세한 선폭을 갖는 선을 하나 그리는 것은 그리 어렵지 않은 일이나, 그러한 선들이 일정한 간격을 두고 여러 개 배열되어 있는 구조를 만드는 일은 전자빔의 backward scattering 과 proximity 등의 효과[1] 때문에 쉬운 일이 아니다. 이 같은 전자빔의 여러 가지 효과 등을 고려하여 실리콘 기판위에 100nm의 pitch와 100nm의 선폭을 갖는 나노구조물을 제작하는 것은 그 의미가 크다.

나노선과 전극사이의 접촉저항은 나노선소자의 전기적 특성을 저해하는 주된 요인으로 알려져 있다. 본 연구에서는 이러한 접촉저항의 원인 중 하나로 생각되는 나노선 주위의 자연산화막을 건식에칭방법을 통해 제거해 보았다.

2. 실 험

전자빔패턴을 이용한 나노구조물 형성

그림1에서 보는 것처럼 P형 실리콘 기판위에 PMMA를 130nm두께로 스핀코팅을 한 후 100nm선폭을 갖는 선들이 각각 100nm, 200nm, 300nm, 400nm pitch를 갖도록 전자빔 장치를 이용하여 패터닝을 수행하였다. 이때 선의 길이는 수㎛ ~ 수십㎛까지 변화시켰고, 전자빔의 dose를 2000pC/cm ~ 3400pC/cm로 달리하면서 기판위에 패턴을 그렸다. MIBK 용액으로 develop한 뒤 RIE(Reactive ion etching)로 건식에칭을 수행하였다. 에칭이 끝난 기판을 아세톤 용액을 이용하여 기판위에 남아있는 PMMA를 제거해 최종 구조물을 얻을 수 있었다. 사용된 전자 빔 식각 장비는 JEOL의 JSM6460 모델로써 SEM(Scanning Electron Microscope), Deden의 beam blanker와 Raith의 전자빔 제어 장비 Elphy plus로 이루어져 있다.

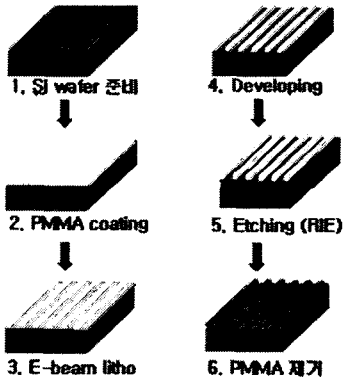

그림 1. 나노 구조물의 단계적 형성과정

에칭에 따른 나노선의 모양변화

GaN 단일 나노선의 전기적 특성측정을 위해 제작된 소자 중에서[2], 전자빔으로 전극패턴을 형성 한 후 develop 공정이 끝난 소자를 두 가지의 조건으로 건식에칭 해보았다. 첫 번째는 CF_4 50sccm, Ar 10sccm, 70W, 70mtorr 조건으로 나노선 주변의 자연산화막을 제거할 목적으로 90초 동안 에칭 하였고[3], 두 번째로는 나노선의 가장 외곽에 있는 산화막을 포함하여 나노선 자체를 일부분 식각하기 위해서 CHF_3 50sccm, Ar 20sccm, 50W, 100mtorr 조건으로 180초 동안 에칭 하였다[4]. 에칭 후 각각의 조건에 대하여 나노선의 모양이 실제로 어떻게 변화했는지를 AFM 이미지를 통해 살펴보았다.

3. 결과 및 고찰

각각의 pitch간격에 대해 2600pC/cm의 dose량에서 가장 선명한 나노구조물을 얻을 수 있었다. 그림2는 Dose를 2600pC/cm로 주고 전자빔 패턴 한 결과 100nm선폭을 가지면서 200nm pitch크기 까지는 구조물이 잘 형성되었음을 보여주는 AFM이미지다. 그림2(d)에서 처럼 100nm 이하가 되는 pitch에 대해서는 전자 빔으로 패턴하는 과정에서 backward scattering 영향 때문에 인접한 부분에까지 over dose가 발생하여 처음 패턴디자인 했던 구조물을 얻을 수 없었다.

AFM 이미지 결과 CF_4 50sccm, Ar 10sccm, 70W, 70mtorr 조건으로 에칭된 나노선은 그림3(a)처럼 나노선 아래 부분에 있는 Si_3N_4식각의 영향으로 오히려 에칭전보다 나노선과 기판의 단차가 증가되어 관찰되었다. 그리고 CHF_3 50sccm, Ar 20 sccm, 50W, 100mtorr 조건으로 에칭된 나노선은 효과적으로 에칭이 되었음을 그림3(b)과 그림4에서 나노선과 기판사이의 단차가 줄어드는 것을 통해 확인해 볼 수 있었다.

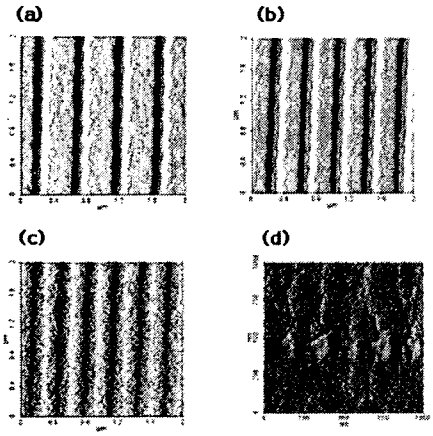

그림 2. pitch의 크기가 각각 (a) 400nm (b) 300nm (c) 200nm (d) 100nm일 때 형성된 나노구조물의 AFM 이미지

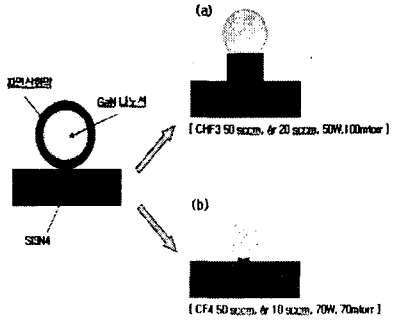

그림 3. (a) CF_4 50sccm, Ar 10sccm, 70W, 70mtorr (b) CHF_3 50sccm, Ar 20sccm, 50W, 100mtorr 조건으로 에칭 후 나노선의 모양변화도

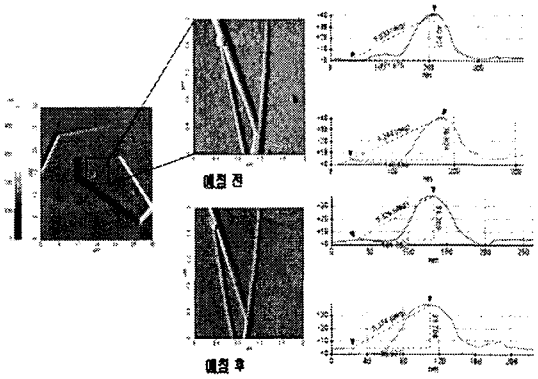

그림 4. 건식에칭 전, 후의 나노선 AFM 이미지

4. 결 론

전자빔을 이용해 dose량과 pitch의 크기를 변화시키면서 나노구조물을 형성해 보았다. 2600pC/cm의 dose량에 pitch가 200nm이상일 때 선명한 나노구조물을 얻을 수 있었다. 100nm 선폭과 100nm이하의 pitch크기를 가지는 구조물을 얻기 위한 방법으로는 좀더 고배율에서 전자빔 패턴을 하고, FE-SEM을 이용 좀더 낮은 가속전압을 패턴하는데 사용하여 back scattering 효과를 최대한 줄여 보는 방법을 생각해 볼 수 있다.[1]

GaN 나노선의 전기적 특성을 저해하는 나노선 표면의 자연산화막을 제거하기 위해서 두 가지 조건으로 건식에칭해 보고, 에칭 후의 모양변화를 AFM이미지로 확인해 보았다. 각각의 조건에 대해서 서로 다른 양상으로의 모양변화가 있었으나 나노선 표면의 자연산화막은 효과적으로 제거되었으리라 판단된다. 에칭된 나노선에 금속전극 증착을 하여 그 전기적 특성이 얼마나 향상되는지를 실제로 확인해 볼 계획이다.

감사의 글

이 논문은 2004년도 한국학술진흥재단의 지원에 의하여 연구되었음. (KRF-2004-042-C20017)

참고 문헌

[1] P. Rai-Choudhury, Handbook of Micro lithography, Micro-
maching, and Micro fabrication volume 1. Microlithography.

[2] 김강현, 임찬영, 원부운, 김규태, "전자빔을 이용한 단일 나노선상 선택적 패터닝방법", 한국전기전자재료학회 2004 하계학술대회 논문집 Vol.5, No.1, p. 44, 2004.

[3] Stephen J. Pearton, David P. Norton, "Dry etching of electronic oxides, polymers, and semiconductors", Plasma Process. Polym. 2005, 2, 16-37.

[4] Heon Lee, David B. Oberman, and James S. Harris Jr., "Reactive ion etching of GaN using CHF_3/Ar and C_2ClF_5/Ar plasmas", Appl. Phys. Lett. 67 (12), 18 September1995.