

광학 현미경을 이용한 단일 나노선에서의 선택적 전극 형성 방법

오동진, 김강현, 피성훈, 심성규, 이종수, 김상식, 김규태*
고려대학교 전기공학과*

Simple μ -scale selective patterning on a single nanowire by using an optical microscope

Dong-Jin Oh, Kang-Hyun Kim, Sung-Hoon Pieh, Sung-Kyu Sim, Jong-Su Lee, Sang-Sig Kim
and Gyu-Tae Kim*

Department of Electrical Engineering, Korea Univ.*

Abstract

광학 현미경을 이용한 포토리소그래피 방법을 통해 단일 나노선에 선택적 전극을 형성하였다. SiO₂ 기판에 나노선을 도포하여 사용하였고 수 마이크로미터 길이의 단일 나노선에 2단자 전극을 형성하는데 충분한 resolution을 얻을 수 있었다. 리소그래피 노광 광원으로는 현미경에 내장된 할로겐 램프를 사용하였고, 동일 광원으로 관측하기 위해 광학 필터를 사용하였다. 실험 상황에 따라 금속, OHP 필름, 종이 등의 재질로 다양한 마스크를 제작하여 사용하였다. 대물렌즈의 교환을 통해 다양한 projection 배율을 구현하였다.

Key Words : 나노선, 선택적 패터닝, 포토리소그래피

1. 서론

일차원 구조 물질로서의 합성 나노선은 나노전자 소자, 나노광소자로서의 응용 가능성으로 주목받고 있으며, 1991년 *Iijima*가 탄소나노튜브를 발견한 이래로 전세계에서 많은 연구가 이루어지고 있다. [1] 나노선 소자 구현과 그에 대한 연구를 위해서는, 자유롭게 도포된 단일 나노선에 정확한 위치에 원하는 패턴을 형성하는 선택적 미세 패턴 기술이 선행되어야한다. 이를 위해서 E-beam, Ion-beam, X-ray, 포토 리소그래피와 AFM(Atomic Force Microscope)을 이용한 패터닝 기술 등이 개발되었고 사용되고 있다. [4, 5, 7, 8] 그러나 이와 같은 방법들은 고가의 장비를 사용해야하고 시간과 비용이 많이 소요되는 단점이 있으며, 연구실 단계의 나노 소자 연구에 있어 상당한 걸림돌이 되고 있다. 본 실험에서는 일반적인 광학 현미경을 사용하여 선택적 포토 리소그래피 공정을 구현함으로써

단일 나노선에 마이크로미터 크기의 선택적 전극을 형성하는 방법을 소개한다. 현미경을 통해 관측하여 직접적인 선택적 패터닝이 가능하였고 종이, 금속, OHP 필름 등으로 마스크를 직접 제작하여 사용함으로써 비용을 크게 줄이고 자유로운 패턴들을 손쉽게 얻을 수 있었다.

2. 실험 및 결과

선택적 패터닝을 위한 포토리소그래피 장비로 Olympus의 BX41M 광학 현미경을 사용하였다. 리소그래피 광원으로는 현미경에 내장된 30W 반사광 할로겐 램프를 사용하였고, 할로겐 램프가 200nm에서 700nm까지의 폭넓은 대역을 가지기 때문에 g-line(436nm)에 반응하는 PR(Photo Resist)를 사용하였다. 할로겐 램프는 필라멘트 크기가 작아서 리소그래피 광원으로 적합한 점광원에 가깝다. 그림 1 (b)는 광학 현미경을 선택적 리소그래피 장비로 사용하기 위한 몇 가지 부가 장치의 설

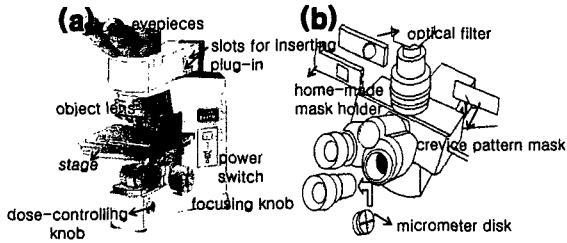


그림 1. 선택적 패턴닝을 위해 설정된 광학 현미경의 개략도, (a) BX41M, (b) 선택적 패턴닝을 위한 부가장치의 설치

치 및 설정에 대해 보여준다. 마스크를 현미경에 고정시키기 위해 마스크 홀더를 제작하였고, 마스크의 정렬을 위해 접안렌즈에 micrometer disk를 부착하였다. 같은 광원을 관측과 노광에 사용하기 때문에, 관측 및 정렬 과정에서 PR의 반응을 막기 위해 장파장을 투과하는 광학 필터를 설치하였다. SiO₂ 기판을 사용하였고 나노선을 도포한 후 PR을 1.6 μ m 두께로 spin-coating하였다. 공정 순서는 그림 2와 같다. 대체로 일반적인 포토리소그래피 공정을 따랐고, 선택적 패턴닝을 위해 부가적인 과정을 수행하였다. 현미경의 대물렌즈는 stepper의 역할을 하며 대물렌즈를 선택함으로써 리소그래피 projection 배율을 결정한다. 패턴을 형성할 단일 나노선을 찾은 후, 리소그래피 projection 배율에서 접안렌즈에 부착된 micrometer disk를 사용해 나노선의 끝단을 화면의 중앙에 정렬시킨다. 실험 상황과 나노선의 방향에 따라 마스크를 선택하여 홀더에 끼워 넣고 역시 화면의 중앙에 정렬시킨다. 나노선과 마스크의 이 같은 정렬 과정은 그림 3에서 표현하였다. 마스크 패턴이 화면에 나타나도록 초점을 맞추고 광원을 끈 후 광학 필터를 제거한다. 여기에서 바로 노광을 행하면 원하는 패턴보다 폭이 넓은 패턴이 형성 되는데, 이는 접안렌즈를 통한 경우의 초점거리와 기판에 마스크의 패턴이 형성되는 초점거리가 다르기 때문이다. 따라서 초점거리의 보정 과정이 필요하며 반복된 실험을 통해 최적 조건을 도출하였다. 표 1에서는 각 projection 배율별로 노광 시간과 초점거리 보정값에 대해 도출된 최적 값을 나타내었다. 저배율 대물렌즈에서 그 차이가 크므로 더 많은 보정을 행해야하고, 고배율 렌즈를 사용하는 경우 DOF(Depth of Focus)가 짧기 때문에 미세한 조정이 필요하다. 노광은

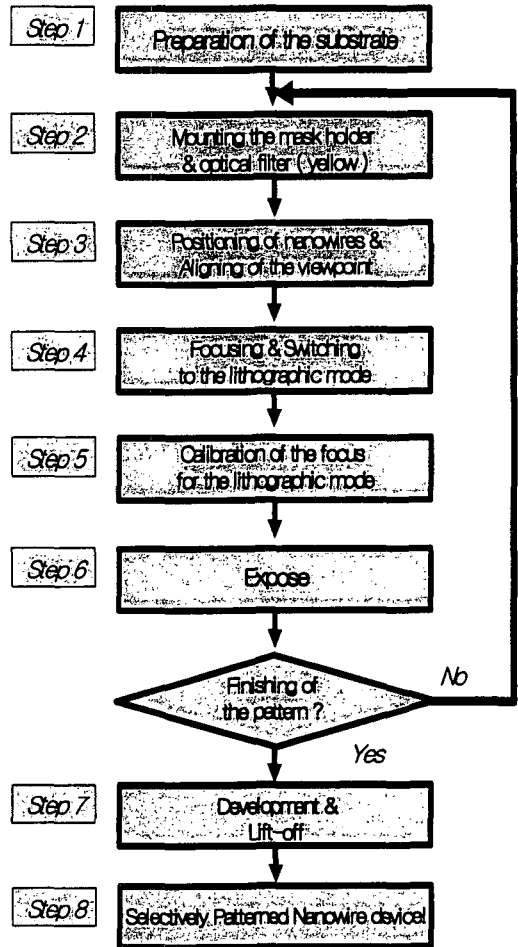


그림 2. 선택적 패턴닝 공정 순서도

광량을 최대한으로 설정 후 행하였다. 노광 후에는 관측 모드로 되돌아가 앞 공정을 반복함으로써 또 다른 패턴을 형성할 수 있었다. 현상(develop)은 MIF300을 developer로 사용하여 60초간 행하였고, Thermal Evaporator를 사용해 Ti와 Au를 차례로 증착한 후 lift-off하였다. 그림 4에서는 본 기술에 의해 선택적 패턴된 결과들의 이미지를 보여준다. $\times 10$, $\times 20$, $\times 100$ 배율의 대물렌즈를 사용하여 각기 다른 스케일의 패턴을 얻을 수 있었다. 단일 나노선의 2-probe 전극 형성을 위해 $\times 100$ 렌즈를 사용하였고, 약 5 μ m의 충분한 resolution을 얻을 수 있었다. bonding pad를 비롯한 상대적으로 큰 패턴의 경우 $\times 10$, $\times 20$ 렌즈를 사용하였고, 종이, OHP, 금속 등의 재질로 만들어

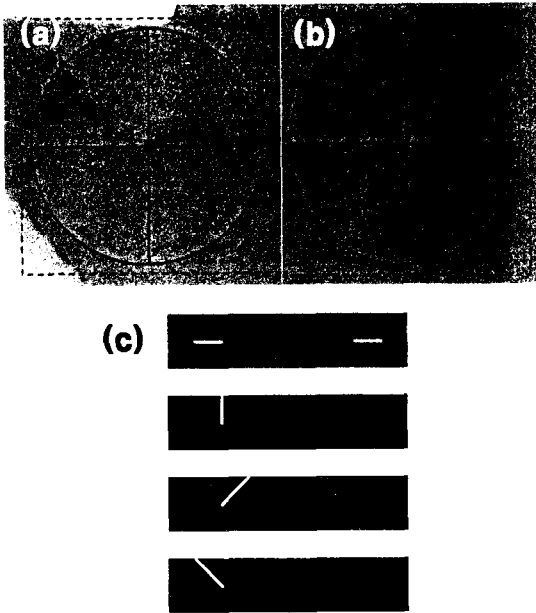


그림 3. 간극 마스크를 이용한 단일 나노선의 선택적 전극 형성. (a), (b) 단일 나노선 양단의 마스크 정렬, 실선은 micrometer disk가 부착된 접안렌즈로 바라보이는 화면, 점선은 정렬된 마스크의 윤곽선. (c) 단일 나노선 전극 형성을 위한 간극 마스크

표 1. projection 배율에 따른 리소그래피 조건

magnification	exposure time(second)	Calibration of the focal length(mm)
×10	40	+ 1.1
×20	35	+ 0.3
×100	20	

진 다양한 마스크를 사용하여 자유로운 패턴을 구성할 수 있었다. AZ5214의 reverse 공정을 통해 negative 패턴을 구현할 수 있었다.

그림 5는 SnO₂ 나노선에 선택적 전극을 형성한 시료를 사용해 전압-전류 특성을 측정된 결과이다.. 전류원 및 측정기기로는 Kiethley2400을 사용하였고 Labview 기반프로그램을 통해 제어하였다.

3. 요약 및 고찰

광학 현미경에 마스크 홀더와 광학 필터를 제작하여 장착하고 다양한 패턴의 마스크를 제작함으로

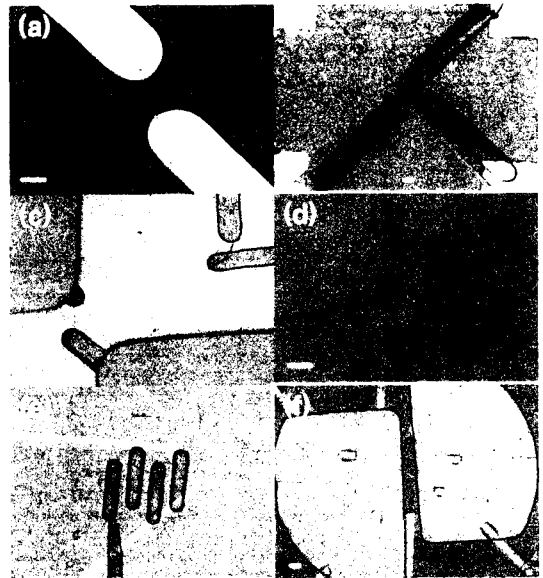


그림 4 현미경에 내장된 CCD를 통해 얻은, 선택적 패턴닝으로 구현된 여러 패턴 이미지, 스케일 바는 모두 5µm. (a) SnO₂ 나노선에 2-probe 전극 형성, Ti와 Au 증착 후 lift off, ×100 projection, 500배 이미지. (b) bonding pad가 미리 구성된 기판 사용, SnO₂ 나노선에 3단자 전극 패턴, ×100 projection, 200배 이미지. (c) 마스크와 대물렌즈 교환에 의한 다중 패턴 형성, SnO₂나노선, bonding pad: ×10, contact: ×100 projection, 200배 이미지. (d) bonding pad 마스크에 의한 직접적인 2-probe 전극 형성, ×100 projection, 500배 이미지. (e) 폴리이미딘 나노선, 4단자 마스크와 간극 마스크를 사용한 패턴, ×100 projection, 200배 이미지. (f) AZ5214 reverse 공정으로 만들어진 negative 패턴, OHP film 마스크 사용, 200배 이미지.

서 선택적 포토리소그래피 장비로 활용이 가능하였다. 현미경에서 관측 가능한 스케일의 각종 나노선에 2-probe 전극을 형성하기에 충분한 resolution을 얻을 수 있었다. 현미경에 내장된 할로겐 램프를 리소그래피 광원으로 사용하였기 때문에. 노광 시간이 다소 길어져야 했고, 관측 시와 리소그래피 시의 초점거리 차이를 보정하는 과정이 필요했다. 이렇게 제작된 SnO₂ 나노선 시료를 통해 전압-전류 특성을 측정하였고, 10 GΩ 수준의 I-V 그래프를 얻을 수 있었다. 이 같은 결과는 나노선과 전극 사이의 접합이 Ohmic이며 상기 그래프가 SnO₂ 나노선의 채널 특성을 보이는 것을 의

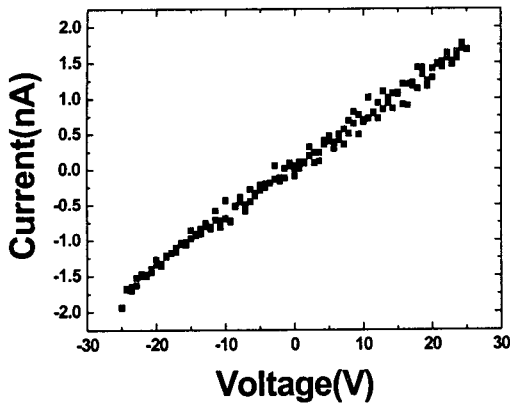


그림 5. SnO₂ 단일 나노선의 전압-전류 특성

미한다. 저항이 크게 나오는 문제는 선택적 패터닝 공정상의 문제보다는 나노선 합성 표면 산화층이나 혹은 증착 금속의 문제일 것으로 보인다.

대물렌즈를 stepper로 사용하기 때문에 ×100까지의 고배율 projection이 가능하였고 따라서 마이크로미터 스케일의 패터를 얻기 위한 마스크를 종이, OHP film 등으로 간단하게 제작하여 사용할 수 있었다. 마스크와 대물렌즈의 교환을 수반한 반복적인 리소그래피 공정을 통해 자유로운 패터들을 구현할 수 있었고, 다양한 실험 상황에 탄력적으로 사용할 수 있었다. 이 같은 면에서 본 논문에서 소개한 선택적 패터닝 기술은 합성 나노선 기반의 나노 소자 연구를 위한 각종 측정 시료의 제작 및 마이크로미터 스케일의 다양한 패터닝이 필요한 MEMS(Micro Electro Mechanical Systems)를 비롯한 여러 분야에서 활용될 수 있을 것으로 기대된다.

감사의 글

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

참고 문헌

[1] Iijima S, 1991 Nature 354, 56.
 [2] Ruska W S, 1998 Microelectronic Processing

(New York, McGraw-Hill Book) p~1.

[3] Langer L, Stockman L, Heremans J P, Bayot V, Olk C H, Vanhaesendonck C, Bruynseraede Y and Issi J P, 1995 Synth. Met., 70, 1393.
 [4] de Pablo P J, Graugnard E, Walsh B, Andres P, Datta S and Reifengerger R, 1999 Appl. Phys. Lett. 74, 323.
 [5] Kim G T, Waizmann U and Roth S 2001, Appl. Phys. Lett. 79 3497.
 [6] Someya T, Kim P and Nuckolls C, 2003 Appl. Phys. Lett. 82, 2338.
 [7] Martensson T, Borgstrom M, Seifert W, Ohlsson B J and Samuelson L, 2003 Nanotechnology 14, 1255.
 [8] Cronin S B, Lin Y M, Rabin O, Black M R, Ying J Y, Dresselhaus M S, Gai P L, Minet J P and Issi J P, 2002 Nanotechnology 13, 653.