

전기장을 이용한 나노와이어 희석기 제작

양진호*, 윤현중**, 양의혁**, 양상식*

아주대학교 전자공학부*, Stevens Institute of Technology 기계공학과**

Fabrication of a nanowire diluter using electrical fields

Jin-ho Yang*, Hyeun-joong Yoon**, Eui-Hyeok Yang**, Sang-sik Yang*

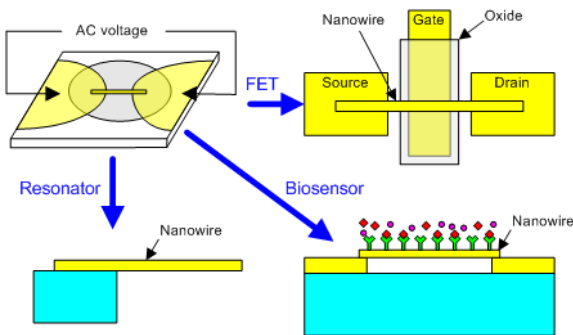
Department of Electrical & Computer Engineering, Ajou University*

Department of Mechanical Engineering, Stevens Institute of Technology**

Abstract - The control of the number and dimension of nanowires is essential for dielectrophoretic(DEP) nanoscale assembly process. However, it is difficult to control the number of nanowires assembled between the electrodes. We have developed a nanowire diluter device, which consists of a glass substrate with gold electrodes and a PDMS layer with microchannel. The diluter device is fabricated by the conventional and soft lithographies using a SU-8 mold. Nickel nanowires (30 μ m-long) are fabricated by a template-directed electrodeposition process using nanoporous alumina templates. A solution containing nanowires is injected into an inlet whereby pulsed voltages are applied to 16 pairs of electrodes in this experiment. The nanowires are trapped or released depending on the pulsed electric field from inlet to outlet (the channel). Therefore, the number of nanowires can be decreased correspondingly if the fixed frequency at each electrode is decreased from electrode to electrode.

1. 서 론

나노와이어는 고표상비(high aspect ratio)를 갖는 나노재료로 차세대 전자 소자 개발에 응용할 수 있는 대표적인 물질로 손꼽히고 있다. 이러한 나노와이어는 그림 1과 같이 FET와 같은 전자 소자, 공진기와 같은 기계적 구조물, 바이오센서, 가스 센서 등 여러 가지 소자에 응용할 수 있다. 나노와이어의 정렬 방법으로는 전기장 유도 방법, 미세유체유동 유도 결합[1], 하향식(Top-down) 방식과 상향식 하이브리드(bottom-up hybrid) 방법 등이 있다. 이 중 전기장 유도 방법은 나노와이어를 간단하게 정렬할 수 있는 대표적인 방법이다. 그림 1은 전기장 유도 방법을 기초로 하는 유전영동(dielectrophoresis, 이하 DEP)을 이용한 나노와이어 장치의 응용 사례를 나타낸다. DEP는 공간적으로 균일하지 않은 전기장이 충전되지 않은 입자의 유도된 쌍극자에 힘을 가하는 현상이다. 이 현상을 이용하여 다른 종류의 입자를 조작, 이동, 분리, 정렬하는데 쓰일 수 있다[2]. 이러한 나노와이어를 특정한 위치에 정렬할 때, 용액 한방울 안에 있는 나노와이어의 수를 제어하는 것은 어렵다. 본 연구에서는 니켈 나노와이어를 전기장에 의해 무질서한 상태에서 고도로 정렬하여 무수히 많은 나노와이어의 수를 줄이는 방법 및 장치를 제시한다.



〈그림 1〉 DEP(dielectrophoretic)를 이용한 나노와이어 장치의 응용 사례

2. 장치 동작원리

전기장 유도 방법

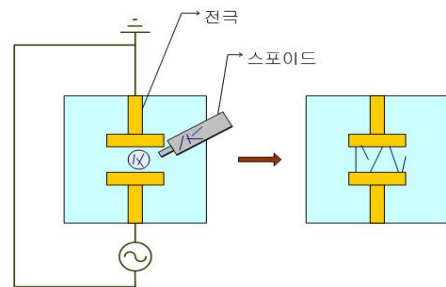
나노와이어의 기초요소로부터 유용한 나노시스템을 만들기 위해 나노와이어들을 점점 더 복잡한 구조로 결합하고, 이 전에 나노와이어들을 특정한 방향과 위치에 정렬시키고 조작하는 기술개발이 필요하다. 이러한 목적으로 나노디바이스를 만들기 위한 수단 중 하나로 전기장 유도에 의한 결합이 모색되고 있다.

그림 2는 전기장 유도 방법(electrical field-directed assembly)을 이용한 나노와이어의 정렬을 나타낸다. 나노와이어는 이방성 구조(anisotropic structure)와 높은 극성으로 인해서 전기장을 걸어주게 되면 정렬할 수 있다[1]. Duan 등은 전기장의 방향에 따라서 InP 나노와이어가 정렬된 전자 현미경 사진들을 발표함으로써 전기장 유도에 의해서 나노와이어 어레이를 만들 수 있음을 입증하였다[3]. 이러한 방법을 확장하여 전기장 유도 방법을 이용하면 각 나노와이어를 서로 평행하게 병렬로 배치시킬 수 있을 뿐만 아니라 교차된 구조로도 결합시킬 수 있다[4]. 따라서 전기장의 방향을 적절히 변화시켜 특정한 위치로 나노와이어의 정렬이 가능하다.

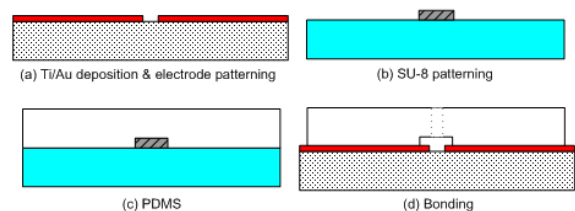
3. 제작 공정

3.1 제작 방법

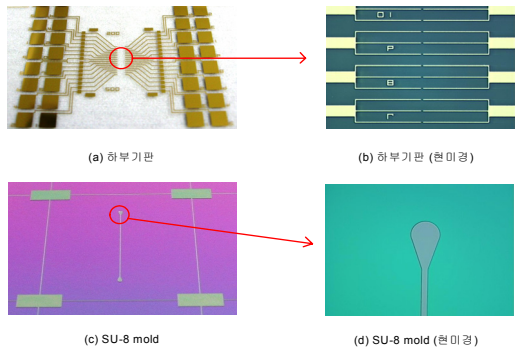
그림 3은 나노와이어 희석기의 제작 공정을 나타낸다. 유리웨이퍼 위에 Ti/Au를 100/1000 Å의 두께로 증착한 후, AZ1512로 패터닝하여 전극을 제작한다. 실리콘 웨이퍼 기판에 SU-8 2050으로 패터닝하여 몰드를 형성한 후, PDMS를 붓는다. PDMS가 굳은 후 떼어내고, 전극이 있는 유리 기판에 본딩하여 나노와이어 희석기를 완성한다. 그림 4는 전극이 형성된 유리 기판과 실리콘 기판 위에 형성된 SU-8 몰드의 사진이다. 채널의 높이와 폭은 각각 35 μ m, 100 μ m이다.



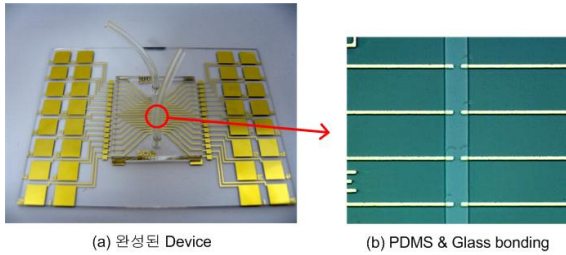
〈그림 2〉 전기장 유도방법의 개념도



〈그림 3〉 나노와이어 정렬기 제작 공정도



〈그림 4〉 하부기판과 SU-8 몰드의 사진



〈그림 5〉 완성된 나노와이어 회석기의 사진

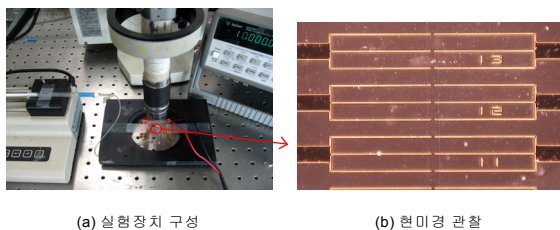
3.2 완성된 나노와이어 회석기

만들어진 하부기판과 PDMS 채널을 산소 플라즈마를 이용하여 분당하고 패드부분은 구리 테이프를 사용하여 같은 주파수를 가진 전압을 인가할 수 있게 한다. 채널의 입구와 출구에는 니켈 나노와이어가 붙지 않게 하기 위해 스테인리스 배출구 대신 실리콘 튜브를 연결하고 주사기의 바늘도 제거한다. 완성된 디바이스의 사진은 그림 5와 같다.

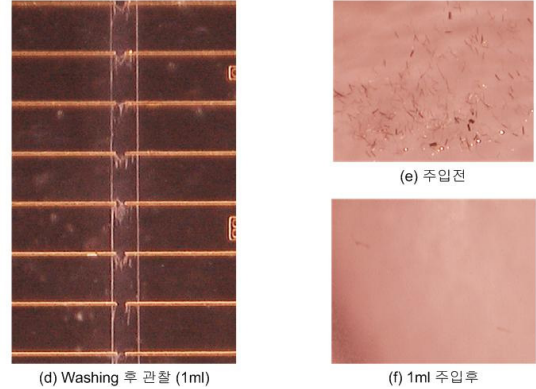
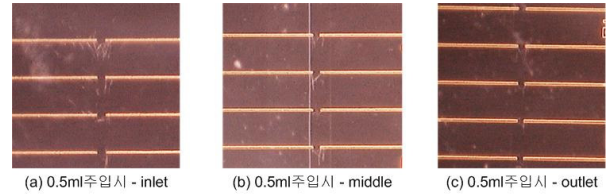
4. 실험결과 및 토론

30 μm 길이의 니켈 나노와이어 교반액을 용매인 DMF(dimethylformamide)와 1대 9의 비율로 섞어서 사용한다. 탈이온수(DI water) 대신 DMF를 사용하는 이유는 용매 자체가 전기적인 특성이 강하고 유동성이 좋아 채널 벽에 나노와이어가 붙지 않게 하기 위함이다. 그림 6은 실험 장치의 준비과정을 보여준다. 완성된 장치를 뒤집어서 현미경으로 채널을 관찰할 수 있게 한다. 파형발생기를 이용하여 주파수 10 MHz, 10 Vp-p를 구리테이프를 붙인 양쪽 패드에 인가한다. 주사기 펌프를 이용하여 일정한 비율로 니켈 나노와이어 교반액이 흐르게 한다. 이때 5 mm 지름의 주사기를 사용하여 1 ml의 나노와이어 교반액을 7 ml/h의 유속으로 주입시켰다.

다음은 파형 발생기로 주파수를 인가하였을 때의 현상을 살펴 보았다. 그림 7의 (a), (b), (c)는 나노와이어 교반액을 0.5 ml 주입시켰을 때의 입구부터 출구까지의 현미경 사진을 보여준다. 입구부분에서 나노와이어 트랩이 많이 이루어져 출구부분의 나노와이어 수가 많이 줄어들었음을 확인할 수 있다. 그림 7(d)는 트랩된 모습을 자세히 관찰하기 위해 주파수가 인가된 상태에서 정제수를 사용하여 세정한 사진이다. 무수히 많은 나노와이어가 트랩된 모습을 볼 수 있다. 그림 7의 (e), (f)는 1 ml 나노와이어 교반액을 주입하기 전과 후의 한방울에 대한 현미경 사진이다. 나노와이어 회석기를 거쳐 무수히 많은 나노와이어를 트랩한 결과 거의 남아 있지 않은 모습을 확인하였다.



〈그림 6〉 실험장치 구성



〈그림 7〉 10MHz, 10Vp-p 신호 인가 후의 사진

5. 결 론

본 연구에서는 무수히 많은 나노와이어를 전자기장 유도 방법을 이용하여 전극에 정렬시켜 수를 줄이는 나노와이어 회석기를 제작하고 그 성능을 시험하였다.

1 ml의 나노와이어 교반액이 전극 통과시 입구에서 출구까지 트랩되어 주입전 대비 전체 나노와이어의 수가 적어지는 결과를 얻었다. 향후, 주파수에 따른 트랩의 정도를 자세하게 파악하여 특정한 양의 나노와이어를 얻을 수 있는 실험이 필요하고, 또한 효율적인 정렬을 위하여 전극의 모양을 단계적으로 더 복잡하게 변형시키는 시도가 필요하다[4]. 그리하여 나노와이어의 정렬을 제어하고 마그네토 전송 연구(Magneto-transport study)를 위하여[5][6] 엄청난 양의 나노와이어를 간단하고 쉽게 회석할 수 있는 나노와이어 회석기를 제작할 수 있다.

〔참 고 문 헌〕

- [1] Y. Huang and C. M. Lieber, "Integrated nanoscale electronics and optoelectronics: Exploring nanoscale science and technology through semiconductor," Pure and Applied Chemistry, 76, 2051 (2004).
- [2] A. K. Wanekaya, W. Chen, N. V. Myung, and A. Mulchandani, "Nanowire-based electrochemical biosensors," Electroanalysis, 18, 533 (2006)
- [3] X. Duan, Y. Huang, Y. Cui, J. Wang, C. M. Lieber, "Indium phosphide nanowires as building blocks for nanoscale electronic and optoelectronic devices," Nature, 409, 66-69 (2001)
- [4] Carlos M Hangarter, Youngwoo Rheem, Bongyoung Yoo, Eui-Hyeok Yang and Nosang V Myung, "Hierarchical magnetic assembly of nanowires," Nanotechnology, 18, 205305 (2007)
- [5] Y. Rheem, B.-Y. Yoo, W. P. Beyermann and N. V. Myung, "Magneto-transport studies of single ferromagnetic nanowire," phys. stat. sol., (a)204, 4004-4008 (2007)
- [6] Bongyoung Yoo, Youngwoo Rheem, Ward P Beyermann and Nosang V Myung, "Magnetically assembled 30nm diameter nickel nanowire with ferromagnetic electrodes," Nanotechnology, 17, 2512-2517 (2006)