2006년도 대한전기학회 하계학술대회 논문집 2006. 7. 12 - 14

전자빔 직접 조사법을 이용한 AFM용 나노 프로브의 제작

박성확, 이인제, 김용상*, 성승연, 김재완**, 최영진**, 강치중**, 김성현***, 신진국***
명지대학교 나노공학과, 명지대학교 전기공학과*, 명지대학교 물리학과**, 전자부품연구원 나노정보에너지연구센터***

Fabrication of Nano Probe for Atomic Force Microscopy Using Electron Beam Direct Deposition Method

Sung Hwak Park, In-Je Yi, Yong-Sang Kim*, Seung-Yeon Sung, Jaewan Kim**, Y. J. Choi**, C. J. Kang**, Sung Hyun Kim***, and J. K. Shin***
Dept. of Nano Science & Engineering, Myongji University
Dept. of Electrical Engineering*, Myongji University, Dept. of Physics**, Myongji University,
Nano technology Research Center, Korea Electronics Technology Institute***

Abstract - 반도체 소자의 선폭이 나노미터 스케일로 진입함에 따라 소자의 물리적 특성을 나노미터 스케일에서 정밀하게 측정하고자 하는 요구가 증대되고 있다. Atomic Force Microscopy (AFM)은 나노미터 이하의 해상도를 가지고 물질 표면의 기하학적, 전기적 특성 등을 측정할 수 있으므로 나노소자 연구에 필수적인 도구가 되었다. 그러나 AFM은 낮은 측정속도와 탐침의 기하학적 형상에 의한 AFM 영상의 왜곡 등과 같은 치명적인 단점도 가지고 있다. AFM의 낮은 측정 속도를 개선하기 위해서 진보된 마이크로머시닝기술을 이용하여 캔틸레버의 크기를 줄이거나 캔틸레버 위에 박막 구동기를 집적시키는 등의 노력이 진행되고 있으나, 이 경우 전통적인 식각 공정을 이용하여 캔틸레버 위에 tip을 형성하는 것이 매우 어렵다. 본 연구에서는 이미 제작된 캔틸레버 위에 전자빔 조사법을 이용하여 탄소상 tip을 직접 성장시킴으로써 전통적인 식각 공정에 비해 매우 간단하고 값싸며, 활용도가 높은 공정을 개발하였다. 탄소상 tip 성장에 필요한 탄소 소스는 dipping 방법을 이용하여 공급하였고, 시분할법을 사용하여 캔틸레버의 원하는 위치에 tip을 성장시킬 수 있었다. 이렇게 제작된 tip은 최대 5 μm 높이까지 가능했으며, 종횡비는 10:1 이상이어서 tip의 형상에 의한 AFM 영상 왜곡 현상을 최소화할 수 있을 것으로 기대된다.

1. 서 론

전자빔을 조사하여 탄소상 tip을 성장하는 연구는 90년대 초부터 이루어져 왔으며 초기에는 재현성이 낮은 Scanning Tunneling Microscopy (STM)의 금속계 프로브에 대응하기 위해 연구가 되었으며 [1], AFM이 연구용 장비로 널리 쓰이게 됨에 따라 마이크로머시닝 공정을 이용한 상용 tip 에 비해 보다 세밀한 tip을 제작하는데 활용되어 왔다. AFM은 나노 스케일 이하의 해상도를 높이기 위한 tip 세밀화에 대한 요구로 인해 AFM의 프로브로의 적용 가능성에 대한 연구로 확대되어 왔다 [2].

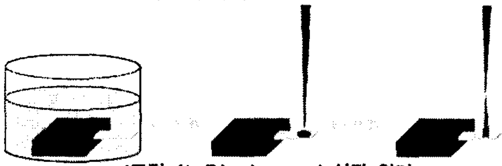
나노 스케일 이하의 해상도를 가지고 물질 표면의 기하학적, 전기적 특성을 측정 할 수 있다. 그러나 AFM의 낮은 측정 속도와 영상의 왜곡 등과 같은 단점들이 있다. 일반적인 AFM 캔틸레버는 시편 표면 주사 속도는 AFM의 되먹임 시스템의 속도에 의해 결정되는데, 되먹임 회로의 속도는 캔틸레버 수직방향 구동기의 공진 주파수에 의해 제한된다. 따라서 AFM 영상을 얻는 시간을 단축하기 위해서는 캔틸레버 수직방향 구동기의 공진 주파수를 향상시키는 것이 필수적이다. 최근에는 100 kHz 이상의 공진 주파수를 갖는 수직방향 구동기를 박막형태로 집적화 하려는 시도들이 진행되어 오고 있다. 그러나, 이러한 경우 기존의 캔틸레버 제작의 전체적인 공정이 매우 복잡해질 뿐 아니라 제작비용의 상승을 초래하게 된다.

이에 반해, 탄소상 tip은 마이크로머시닝 기술로 제작된 Si tip보다 우수한 고종횡비를 가지며 구동기 제작 공정에 영향을 미치지 않기 때문에 깊은 홈 구조와 같은 형상을 측정하는데 있어 측정 왜곡현상을 현저히 줄일 수 있으며 측정 속도를 증가 시킬 수 있다. 또한 캔틸레버 위에 직접 성장시킴으로써 tip 제작의 복잡한 공정을 단순화 시킬 수 있는 장점을 가지고 있다.

2. 실 험

2.1 실험 원리

탄소상 tip을 성장하기 위해서는 기체나 액체 상태로 존재하는 탄소가 함유된 소스에 특정에너지를 인가하여 결합된 탄소의 결합에너지를 깨뜨리고 열에 의해서 적층 하도록 해야 한다. 이와 같은 원리 하에, 전자 현미경의 특정 가스 분위기에서 시편에 전자빔을 조사하여, 전자빔 조사에 의해 국부적으로 가열된 시편이 주변 가스분자를 여기 시키고, 여기 된 가스분자는 시편에 입사된 후 표면으로 방출되는 이차전자의 kinetic energy에 의해 해리되고 적층된다. 특히, 탄소계 가스를 분위기로 사용하는 경우 C-C, C-H, C-O의 화학결합 에너지는 각각 3.25, 3.54, 4.31 eV 이기 때문에 50 eV 수준의 에너지를 가지는 이차전자는 화학결합을 이루는 각각의 전구체(precursor)들을 분해하기에 충분하다는 결론 하에 실험을 진행하였다. 기존의 전자빔 탄소상 tip 성장은 주로 프로브 위에 부가적으로 고종횡비를 가지는 tip을 성장시키는데 활용되어, 그 높이가 1 μm를 넘지 않았다. 그러나 캔틸레버 위에 성장된 탄소상 tip을 바로 AFM 프로브로 사용하기 위해서는 수 μm 수준의 길이가 필요하다. 기존의 방법들은 오일확산펌프에서 오일의 역류로 인한 잔류가스를 활용하였다. 이 경우 충분히 탄소원이 공급되지 않으므로, 충분한 양의 탄소소스를 제공하기 위하여 제작된 캔틸레버를 탄소계 용액에 담근 후, 자연 증발을 통해 기판에 적당량의 탄소계 물질을 잔류하도록 한 후 tip을 성장시키는 dipping 방법을 사용하였으며, 탄소상 tip이 성장하는 원리는 그림 1과 같다.



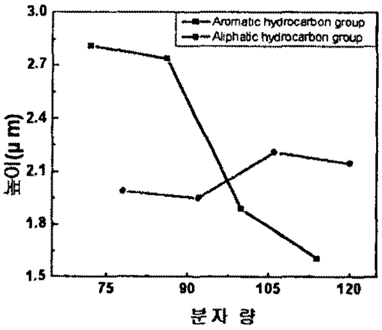
<그림 1> Dipping and 성장 원리

2.2 실험 방법

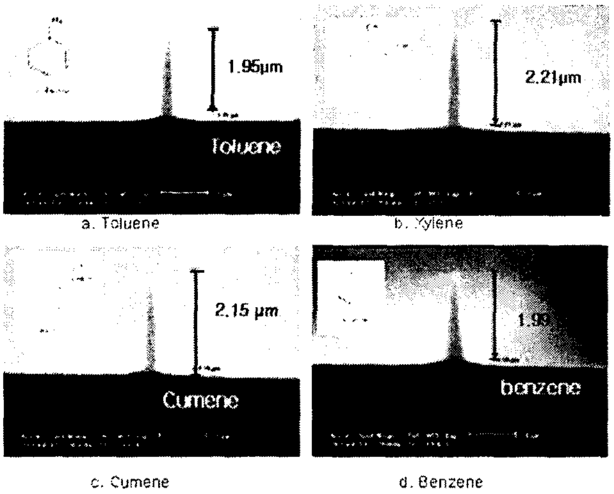
오일확산펌프를 이용하여 배기되는 전자현미경에서 오일의 역류로 인한 잔류가스에 의해 탄소계 물질이 시편 표면에 성장한다는 보고에 따라 특별히 탄소소스를 주입하지 않고 tip의 성장 거동을 dipping 방법과 비교 분석하였다. 탄소계 tip을 AFM 프로브에 응용하기 위해서는 tip의 길이, 지름을 제어하는 것 과 재현성을 확보하기 위해 전자현미경의 제어 파라미터 중 가속전압, 프로브 전류, 조사시간 변경시키며 탄소상 tip의 성장을 관찰 하였다. 그 결과로써 가속전압 30 kV, 프로브 전류 1 pA, 조사시간 5 분의 최적의 성장 조건을 획득 할 수 있었다. 이와 같은 성장 조건 하에 최초 dipping 실험한 물질은 지방족 탄화수소 용액과 방향족 탄화수소 용액을 탄소원으로 선정하였다. 위와 같은 용액을 선정한 것은 분자량 및 분자구조에 따른 지방족 탄화수소 용액과 방향족 탄화수소 용액을 각 각 4종씩 선정하여 tip의 성장거동을 조사하기 위함이었다.

2.3 실험 결과

오일확산펌프 오일의 역류로 인한 잔류가스 분위기에서 tip을 성장 시켰을 경우 길이는 최대 500 nm를 가지는 tip을 성장 시킬 수 있었다 [3]. 그리고 dipping을 하였을 경우 tip의 유효 길이가 월등히 성장 하는 것을 관측 하였다. 그리고 방향족 탄화수소 용액으로 dipping한 경우 바닥직경이 대체적으로 작고 성장기판의 상태에 따라 차이가 있지만 분자량의 증가에 따라 tip 길이가 증가함을 알 수 있었다 (그림 2, 3). 그러나 지방족 탄화수소 용액으로 dipping한 경우는 분자량의 증가에 따라 오히려 tip의 길이가 감소하는 경향성을 보였다 (그림 2, 4). 그리고 최대 5 μm 높이를 갖는 나노 tip를 제작하기 위해 시분할법을 부가적으로 사용하였다 (그림 5). 시분할법은 수 분 단위의 장시간 전자빔 노출하는 대신, 10초 이내의 짧은 시간 동안의 전자빔 조사를 20회 이상 반복한다. 이렇게 짧은 시간동안 조금씩 전자빔에 노출시키는 이유는 전자빔으로 인한 열적인 분해반경을 감소시키기 위함이다.



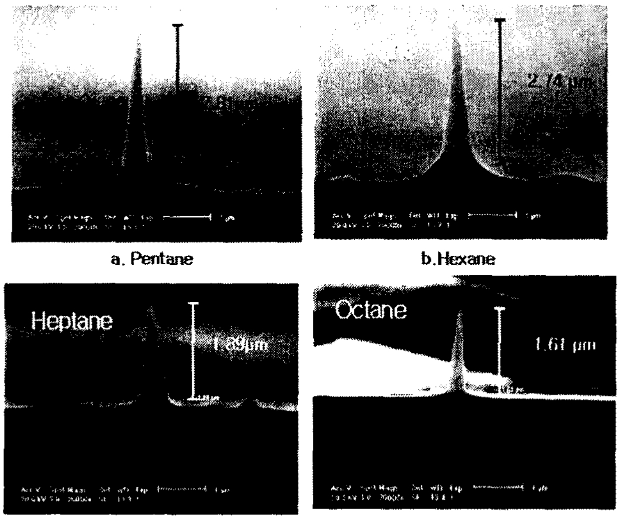
<그림 2> 분자량에 따른 tip성장



a. Toluene b. Xylene

c. Cumene d. Benzene

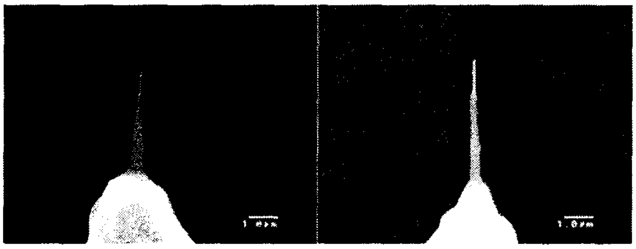
<그림 3> 방향족 탄화수소에 Dipping한 tip성장



a. Pentane b.Hexane

c.Heptane d.Octane

<그림 4> 지방족 탄화수소에 Dipping한 tip성장



<그림 5> 5 μm 이상 성장 시킨 tip

3. 결 론

오일확산펌프 오일의 역류로 인한 잔류가스 분위기에서 tip을 성장 시켰을 경우 바닥직경이 90 nm, 길이는 최대 500 nm를 가지는 tip을 성장 시킬 수 있었다. 그리고 dipping을 하였을 경우 tip의 길이가 월등히 성장하는 것을 알 수 있었으며, 시분할법을 사용하여 최대 5 μm 높이를 갖는 나노 tip을 제작하였다.

본 연구그룹에서는 전자빔 직접 조사법, dipping 그리고 시분할법을 이용하여 tip을 제작함으로써 5 μm 높이를 가지며 종횡비는 10:1 가지는 나노 프로브를 제작 하였다 (그림 5). 이러한 tip을 이용하여 기하학적 형상에 의해 발생하는 영상 왜곡 현상을 줄일 수 있었다. 이 결과는 산업적인 면에서 의미 있는 결과로 받아들일 수 있는데, 그 이유는 고속 AFM의 박막구동기가 집적화된 캔틸레버 제작공정에서 가장 까다로운 공정인 tip 형성 공정을 생략할 수 있는 가능성을 제시해 주기 때문이다. 실제로 제작되는 고속 AFM 캔틸레버 제작공정을 살펴보면, 구동기 공정 시 tip을 보호하기 위하여 감광막을 증착하고 구동기 공정이 끝난 후 보호막을 제거해야 한다. 그러나 보호막은 구동기 공정 시 다른 물질의 침투로 인해 보호막 자체의 성질을 잃어버리기 때문에, 공정 후 완전한 제거가 어려울 뿐 아니라 제거하더라도 본래 만들어 놓은 tip의 날카로움을 잃어버리게 된다. 따라서 tip 제작의 번거로움, 보호막 형성과 제거의 복잡함을 피할 수 있으며, 길이가 길고 고종횡비를 가지는 고밀도 탄소상 tip의 제작은 캔틸레버 제작공정을 단순화 시킬 수 있었다. 따라서 고속 AFM용 캔틸레버의 제작이 용이하게 될 수 있는 장점을 가지고 있다.

감사의 글

이 논문은 2006년도 2단계 두뇌한국21사업에 의하여 지원되었음

[참 고 문 헌]

[1] Y. Akama, E. Nishimura, and A. Sakai, H. Murakami, "New scanning tunneling microscopy tip for measuring surface topography", J.Vac.Sci.Technol.A, Vol 8(1), 1990,

[2] M. Wendel, H. Lorenz, and J. P.Kotthaus, "Direct patterning of surface quantum wells with an atomic force microscope", Appl. Phys. Lett., Vol. 25, pp. 67, 1995.

[3] 김성현, 최영진, "전자빔 조사에 의한 탄소상 탐침의 성장", Journal of the Korean Vacuum Society, Vol. 12, pp. 144-149 , 1995.