

직선 이동용 나노 미세 이동장치의 제작

정구은 · 강세종*

고려대학교 물리학과, 서울시 성북구 안암동 5-1

(논문접수일 : 2006년 6월 20일)

신뢰도 높은 나노 직선 이동장치를 제작하였다. 장치는 기본 몸체에 고정된 6개의 피에조 다리들과 이들이 붙잡고 있는 사파이어 육각기둥으로 이루어 졌다. 특정한 전압파형을 피에조 다리에 인가하여 피에조 다리를 순차적으로 움직임으로 육각기둥을 앞으로 혹은 뒤로 움직인다. 직선 이동장치를 지표면에 수직 방향으로 시험구동 하였다. 육각기둥이 수 mm를 움직이는 동안 속도가 일정함을 확인하였다. 위쪽으로 올라가는 가장 느린 속도는 1.7×10^{-6} m/s, 즉 ~ 28.3 nm/걸음이었고 아래쪽으로 내려가는 가장 느린 속도는 중력의 도움을 받아 $\sim 3.7 \times 10^{-6}$ m/s, 즉 ~ 61.7 nm/걸음 이었다. 피에조에 인가된 전압을 증가시키면 육각기둥의 이동 속도가 선형으로 증가하였다. 이 직선 이동장치를 주사형 터널링 현미경의 접근 장치로 사용할 것이다.

주제어 : 주사형 터널링 현미경, 직선 이동용 나노 미세 이동장치

1. 서 론

주사형 터널링 현미경 (Scanning tunneling microscope, STM)을 이용하면 표면의 원자구조를 실공간 이미지로 얻을 수 있다 [1]. STM의 여러 구성 요소 중 매우 중요한 부분은 팁 혹은 시료를 움직이는 나노 이동 장치이다. 측정을 위해 시료를 STM 헤드에 장착할 경우 팁과 시료의 거리는 보통 수 mm 수준이다. 측정을 하려면 그 간격이 수 십 nm 수준으로 좁혀져야 한다. 이를 위해서 이동 장치가 필요한데, 한 걸음 한 걸음 움직이는 걷게(walker) 형태가 적절하다 [2, 3]. 이 때 한 걸음의 길이는 수 십 nm 수준이어야 하며, 움직임의 재현성은 매우 중대한 요소이다. 팁과 시료의 거리가 수 십 nm 수준이 되면 측정을 할 수 있는데 STM의 신호는 거리에 매우 민감하므로 측정하는 동안 진동이 없어야 한다. 즉, 나노 이동대가 정지한 상태에서는 진동이 없이 안정한 상태를 유지해야 한다. 만일 진동이 있다면 이는 곧바로 신호의 잡음으로 이미지에 나타나게 된다. 재현성 있는 움직임(운동 상태)과 진동 없는 정지 상태는 사실상 서로 상반된 조건이다. 이 두 가지 요건을 균형 있게 성취하는 것이 나노 이동 장치 제작의 핵심이다.

나노 이동 장치는 지렛대의 원리나 톱니바퀴 비를 이용한 기계적 이동 장치와 피에조(piezoelectric 물질)에 전기 전압파형을 가함으로 움직임을 일으키는 전기적 이동 장치로 나눌 수 있다 [4]. 기계적 이동장치는 안정도가 우수하나 보통 구조가 복잡하여 진공이나 저온 상태에서 사용하기에 용이하지 않으며, 반면 전기적 이동장치는 상대적으로 안정도가 떨어질 수 있으나 다양한 환경에서 적용할 수 있다는 장점을 갖고 있다 [5-7].

전기적 나노 이동장치는 대부분 뉴턴의 관성법칙을 이용하여 움직이며, 그 대표적인 것으로 beetle과 inchworm motor가 있다. beetle은 세 개의 피에조 튜브와 나선형 경사면으로 이루어지며 운동 재현성이 매우 우수하고 정지 안정도가 뛰어난 것으로 알려져 있으나, 최대 이동 거리가 대개 3 mm 이하이며 수평이 잘 맞추어져야 한다는 제한 조건이 있으며, inchworm motor는 구동 가이드 레일과 PZT, 그리고 클러치로 구성되며, 고정자의 역할을 하는 구동 가이드 레일을 따라 몇 개의 PZT를 이용해 구동되는 메커니즘으로서 나노단위의 높은 정밀도를 제공하지만 낮은 토크와 좁은 구동 범위를 구현한다는 한계가 있다. 이에 반해 관성법칙과 마찰력을 적절히 조화하여

* [전자우편] gyyeom@skku.edu

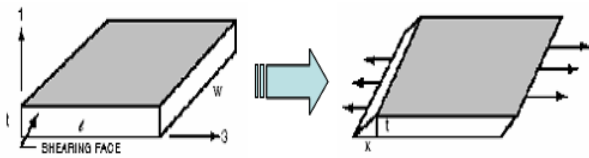


Fig. 1. Shear mode piezo 변형형태

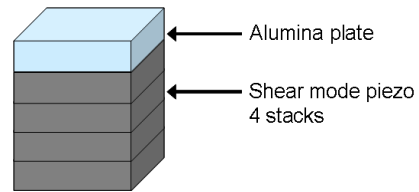


Fig. 2. 피에조 다리의 구조

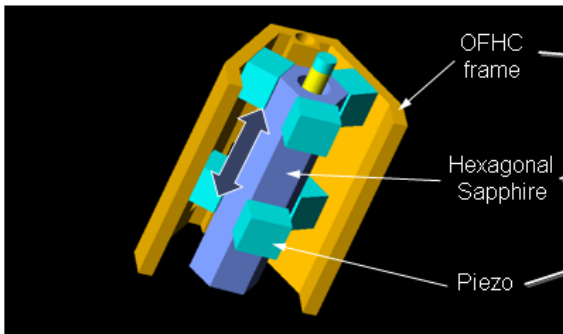


Fig. 3. 제작한 나노 이동 장치 개념도(왼쪽)와 사진

운동을 일으키는 이동장치를 생각할 수 있는데 [8], 본 연구에서는 이와 같은 원리에 의해 움직이는 나노 이동장치를 제작하였다. 제작한 나노 이동장치의 운동을 지표면에 수직인 방향으로 운동시키면서 시험하여 위아래 방향 모두 매우 재현성 높게 움직이는 것을 확인하였다. 얻을 수 있는 가장 작은 한걸음은 윗방향이 28.3 nm이고 아랫방향이 61.7 nm으로 나타났다. 아래 방향이 빠른 것은 중력의 영향 때문이며, 한걸음의 크기는 피에조에 인가한 전압에 따라 선형적으로 증가함을 확인하였다.

II. 본 론

본 연구에서는 PZT(PbZrO_3 , PbTiO_3)로 이루어진 피에조를 사용하였다. Fig. 1에 보인 것처럼 피에조는 판형이며 양쪽 면에 니켈 전극이 도금되어 있다. 사용한 피에조의 크기는 5 mm x 5 mm x 1 mm 이었다. 양쪽의 니켈 전극사이에 전압을 인가하면 피에조 판은 shear(층밀리기) 운동을 한다. 이 때 shear 운동 방향의 길이 변화는 5.8 Å/V 이다. 즉 100 V 를 인가하면 58 nm의 길이 변화를 얻을 수 있다. 본

연구에서는 길이 변화를 충분히 크게 얻기 위해 4 개의 shear 피에조를 Fig. 2와 같이 쌓아서 다리를 만들었다. 피에조와 피에조를 쌓아 붙이는 데는 Ag 에폭시를 사용하여 두 판이 기계적으로 뿐만 아니라 전기적으로도 강한 결합을 할 수 있게 제작하였다. 피에조의 전극에 전선을 붙이기 위해 사각형 판의 한 쪽 모서리를 엇갈려서 재단하였다. 전선을 피에조 전극에 붙일 때에는 역시 Ag 에폭시를 사용하거나 진공에서 사용이 가능한 납을 이용하였다. 하나의 피에조 다리에는 4 개의 피에조가 있고 이들은 결국 5 개의 전극을 만든다. 이 중 3 개의 전극은 접지하였고 나머지 두 개의 전극에 전압을 인가할 수 있게 하였다. 접지는 나노 이동대의 몸체를 통해 이루어 졌다. 각각의 다리의 맨 위쪽 부분에는 알루미늄 판을 부착하였다. 알루미늄 판의 위쪽 면은 매끄럽게 가공 하였으며 향후 움직이는 부분과의 접촉면으로 사용된다.

나노 이동대의 주 몸체는 구리를 이용하여 V자형 계곡형태로 제작하였다 (Fig. 3). 이 몸체에 4 개의 피에조 다리를 붙였다. 한 편 2 개의 피에조 다리는 몸체와 떨어져 있는 구리판에 붙였고 이를 덮개라고 부른다. 나노 이동대에서 움직이는 부분은 사파이어

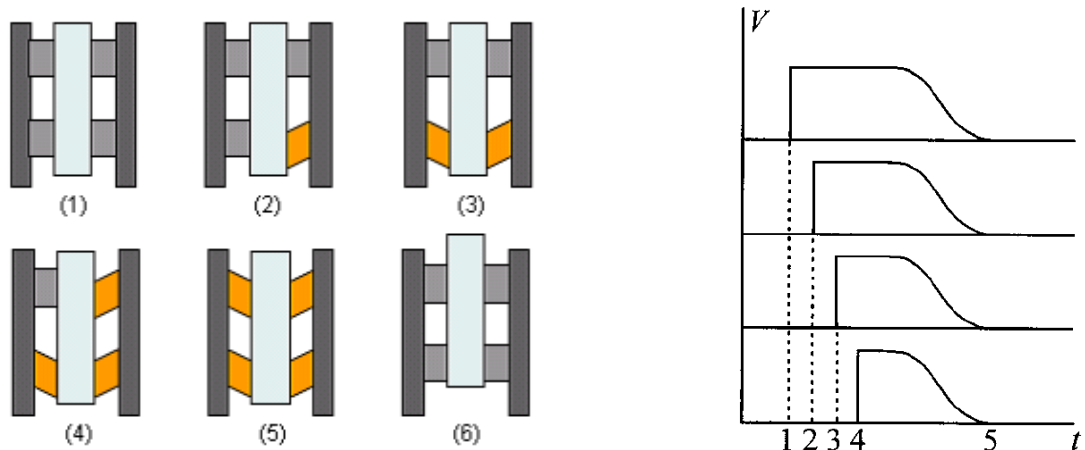


Fig. 4. 인가전압(오른쪽)에 따른 나노 이동 장치의 이동과정 원리 (왼쪽)

로 이루어진 육각기둥이다. 육각기둥의 안쪽에는 향후 STM을 위한 피에조 튜브를 넣기 위해 구멍을 뚫어 제작하였다. 육각기둥의 바깥쪽 3 면은 매끄럽게 가공하였다. 이 3 면 중 2 면을 V자형 계곡의 피에조 다리위에 얹어 놓고 그 위에 덮개를 얹었다. 덮개 위에 베릴륨구리 합금으로 이루어진 판형 스프링을 얹어 놓았다. 이 판형 스프링에는 4 개의 구멍이 있어 그 구멍을 통과시킨 4 개의 나사를 몸체에 제작한 탭 구멍에 고정함으로써 덮개와 사파이어 육각기둥을 고정하였다. 판형 스프링을 이용하여 힘을 균일하게 전달하기 위해 덮개와 판형 스프링 사이에는 3 mm 지름의 금속 구를 삽입하였다. 4 개의 나사가 고정되는 정도를 조정함으로써 판형 스프링이 사파이어 육각기둥을 누르는 힘을 조절할 수 있고 이를 이용하여 나노 이동대의 성능을 조절 할 수 있다.

Fig. 4에는 나노 이동대에서 사파이어 육각기둥이 움직이는 원리를 보여 주고 있다. 피에조 다리에는 그림에 보인 것처럼 순차적인 전압파형을 인가하였다. 전압파형은 60 Hz 전원의 사인파동에서 1/4 부분만을 절취하는 회로를 제작하여 사용하였다. 육각기둥을 잡고 있는 6 개의 피에조 다리 중 1 개에만 전기 전압파형을 인가하면 그 해당 다리만 shear 운동을 한다. 이 때 나머지 5 개의 다리들이 움직이지 않으므로 육각기둥은 멈추어 있다. 즉, 움직이는 1 개의 피에조 다리는 미끄러지는 운동을 하고 육각기둥은 관성에 의해서 멈추어 있게 된다. 이와 같은 방법으로 6 개의 다리를 하나하나 씩 움직이고 맨 마지막

과정에서 6 개의 다리를 이전의 움직임과 반대 방향으로 동시에 움직인다. 이 경우 육각기둥을 잡고 있는 모든 다리들이 같이 움직이게 되고 따라서 육각기둥도 움직인다. 6 개의 다리들이 움직일 때 육각기둥이 같이 따라 움직이려면 다리와 육각기둥과의 마찰력이 충분히 커야 한다. 이와 같은 1 개의 순환과정인 한 걸음이 되고, 이 순환과정을 반복함으로써 육각기둥은 한 걸음 두 걸음 움직이게 된다. 만일 육각기둥을 붙잡도록 누르는 판스프링의 힘이 너무 강하면 다리 1 개만 미끄러지는 움직임이 어렵고 그 힘이 너무 약하면 마찰력이 약해 6 개의 다리가 동시에 움직일 때 육각기둥이 따라 움직이지 않을 수도 있다. 따라서 판스프링을 이용한 적절한 힘 조절이 나노 이동대의 성능에 매우 중요하다.

III. 결과 및 고찰

제작한 나노 이동 장치의 특성을 조사하였다. 나노 이동장치를 수직방향으로 세워 놓고 사파이어 육각기둥의 위아래 방향 움직임을 확인하였다. 먼저, 피에조 다리에 인가하는 전압의 진폭을 65 V로 조정하고 사파이어 육각기둥의 시간에 따른 위치변화를 측정하였다 (Fig. 5). 그림에 나타난 대로 육각기둥이 약 4 mm를 움직이는 동안 일정한 속도로 움직임을 확인하였다. 이 때 위쪽으로 올라가는 속도는 1.7×10^{-6} m/s 이었다. 사용한 전원의 주파수가 60 Hz 이므로 1 초에 60 걸음을 걷게 된다. 따라서 한 걸음 당 움

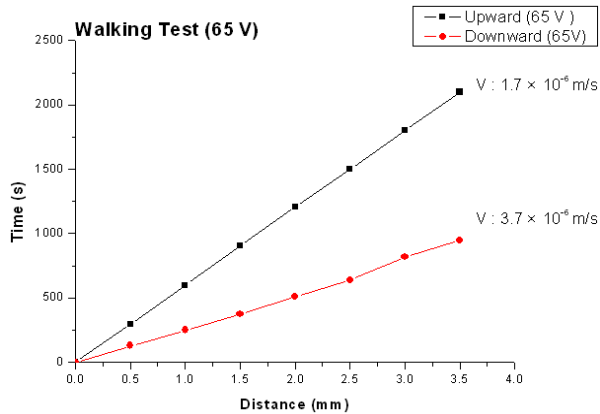


Fig. 5. 전압 진폭 65 V인 파형을 인가할 때 이동 거리에 따른 시간측정 그래프

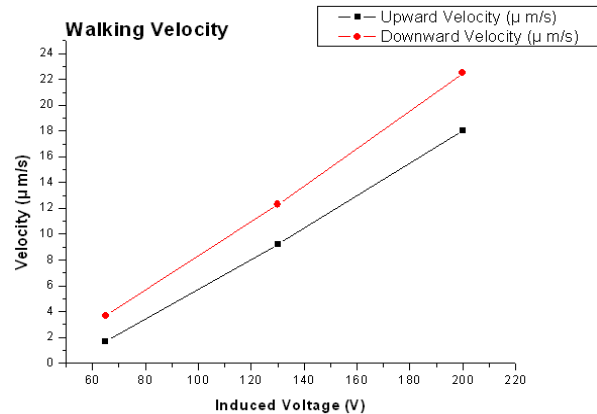


Fig. 6. 인가전압 진폭에 따른 이동 속도

직인 거리는 ~ 28.3 nm이다. 아래쪽으로 내려가는 속도는 중력의 도움을 받아 더 빠른 것으로 나타났는데 $\sim 3.7 \times 10^{-6}$ m/s이었고 한 걸음 당 움직인 거리는 ~ 61.7 nm이었다. 앞서 언급한 피에조 상수에 의하면 한 걸음에 움직이기로 기대하는 거리는 인가 전압이 65 V 일 때 약 150 nm 이다. 실제 움직인 거리는 이 예상 거리의 20 % 혹은 30 % 수준이어서 피에조의 움직임의 상당부분이 나노이동대의 움직임으로 발현되지 못하고 있었다. 한 개의 피에조 다리가 미끄러질 때 육각기둥이 얼마간 움직였거나 6 개의 다리들이 동시에 움직일 경우 육각기둥이 그대로 따라 움직이지는 못했음을 의미한다. 알루미늄과 사파이어 접촉면을 개선하고 판스프링의 세기를 조절함으로써 그 효율이 증대될 수 있을 것으로 생각된다.

인가하는 전압의 진폭을 65 V, 130 V, 200 V로 가변 하여 육각기둥의 속도를 측정하였다 (Fig. 6). 육각기둥의 속도는 진폭의 크기에 비례해서 증가하였다. 200 V의 경우 위로 올라가는 속도는 17.5×10^{-6} m/s 이었고 내려가는 속도는 22.5×10^{-6} m/s 이었다. 이는 65 V에 비해 약 10배의 속도에 해당한다. 200 V의 경우 한 걸음의 거리는 위쪽으로 ~ 292 nm 이고 아래쪽으로 ~ 375 nm 이다. 피에조 상수에 의하면 200 V에서 움직임은 ~ 464 nm 이므로 육각기둥의 움직임은 피에조 움직임의 약 60 %와 80 %에 달한다. 만일 한 걸음 움직이는 동안 육각기둥의 움직임을 등가속도 운동으로 모델링 한다면 평균 속도 $v = at/2$ 이다. (이 때 a 는 육각기둥의 평균 가속도이고, t 는 한 걸음 움직이는데 걸리는 시간, 즉

$1/60$ s 이다.) 측정된 평균 속도로부터 평균가속도를 계산하면 200 V의 경우 윗방향은 2.1×10^{-3} m/s² 이고 아랫방향은 2.7×10^{-3} m/s² 이다. 이는 중력 가속도보다 현저하게 작은 크기의 가속도이다.

IV. 결 론

신뢰도 높은 나노 직선 이동장치를 제작하여 지표면에 수직 방향으로 시험구동 하였다. 육각기둥이 수 mm를 움직이는 동안 속도가 일정함을 확인하였다. 위쪽으로 올라가는 가장 느린 속도는 1.7×10^{-6} m/s, 즉 ~ 28.3 nm/걸음 이었고 아래쪽으로 내려가는 가장 느린 속도는 중력의 도움을 받아 $\sim 3.7 \times 10^{-6}$ m/s, 즉 ~ 61.7 nm/걸음 이었다. 피에조에 인가된 전압을 증가시키면 육각기둥의 이동속도가 선형으로 증가하였다. 이 직선 이동장치를 주사형 터널링 현미경의 접근 장치로 사용할 것이다.

감사의 글

이 논문은 2003년 학술진흥재단의 지원에 의해 연구되었다 (KRF-2003-015-C00208).

참고문헌

[1] Chen, "Introduction to scanning tunneling microscopy (Oxford University Press, Oxford, 1993) Ch. 9".

- [2] Sergei N. Magonov, "Surface Analysis with STM and AFM" (VCH Press, Weinheim, 1996) Ch. 3".
- [3] Joseph A. Stroció., "Scanning Tunneling Microscopy (ACADEMIC Press, inc, London, 1994) Ch. 1".
- [4] Chunli Bai, "Scanning Tunneling Microscopy and Its Applications (Springer, Shanghai, 1992) Ch. 4".
- [5] K. H. Besocke, Surf. Sci. 181, 145–155 (1987).
- [6] D. W. Pohl, Rev. Sci. Instrum. 58, 54 (1986).
- [7] H.-P. Rust, J. Buisset, E. K. Schweizer, and L. Cramer, Rev. Sci. Instrum. 68, 129 (1997).
- [8] S. H. Pan, E. W. Hudson and J. C. Davis, Rev. Sci. Instrum. **70**, 2 (1999).

Construction of Nano-meter Scale Linear Translation System

Goo Eun Jung and Se-Jong Kahng*

Department of Physics, Korea University, 1-5, Anam-dong Seongbuk-gu, Seoul, 136-701, Korea

(Received June 20, 2006)

A reliable linear translation system was constructed. The system has six piezo legs, attached to a main body, holding a hexagonal sapphire rod. The sapphire rod moves either forward or backward with the sequential motion of the piezo legs, driven by characteristic electric voltage waves. The translational system was tested in vertical direction. The speed of the sapphire rod was turned out to be constant during several mm travel. The slowest upward speed was measured to be $\sim 1.7 \times 10^{-6}$ m/s, yielding ~ 28.3 nm/step, while the slowest upward speed was $\sim 3.7 \times 10^{-6}$ m/s, with ~ 61.7 nm/step, due to gravitational force. The velocity increases linearly, as the amplitude of the voltage waves increases. The linear translation system will be used as a coarse approach part for a scanning tunneling microscope.

Keywords : Scanning Tunneling Microscope, Linear Translation System

* [E-mail] sjkahng@korea.ac.kr