

## 집속이온빔 장치를 이용한 정전기 구동 나노트위저의 제작

장지영\*, 김종백, 민병권, 이상조(연세대학교 기계공학부)

### Fabrication of Electrostatically Actuated Nano Tweezers Using FIB(Focused Ion Beam )

Jiyoung Chang\*, Jongbaeg Kim, B.-K. Min, S.J. Lee(School of Mechanical Engineering, Yonsei University)

#### ABSTRACT

Electrostatically actuated nanoscale tweezers are fabricated on micro processed electrodes using FIB-CVD. Heavily doped electrode works as interconnection platform for controlling nanoscale devices. Short bent pillars are deposited to control the gap distance of main tweezers fabricated on bent ones. Two types of tweezers which have different gap distances are fabricated and tweezing motion was successfully demonstrated. The threshold voltages at snap-down of the pillars are dependent on the initial gap distance of the unactuated pillars, and the measured values were 93V for 3.6 $\mu$ m and 30V for 2.2 $\mu$ m. The dimension of nano tweezers and initial gap distances are controllable as demonstrated and we expect more complicated 3-dimensional shapes are also possible.

**Key Words :** Nano tweezer (나노트위저), Nano manipulation (나노조작), Focused Ion Beam (집속이온빔)

#### 1. 서론

나노스케일의 입자를 조작하기 위한 마이크로 및 나노스케일의 트위저 연구는 활발히 진행되어왔다. 카본나노튜브(CNT)를 매니플레이터로서 이용한 연구는 구동전압이 낮고 미세한 조작이 가능하지만 전극의 제작과 카본나노튜브의 조작이 어려우며 많은 조작이 필요할 경우 여러 개의 트위저를 효율적으로 제작하기 힘든 단점이 있다<sup>1,2</sup>. 또한 기존의 정전기력을 이용한 나노트위저의 경우 매우 높은 구동전압을 필요로 하는 단점이 있다<sup>3</sup>. 본 연구에서는 집속이온빔 장치와 랩스공정을 접합하여 높은 가공효율성과 낮은 구동전압을 가지는 정전기력으로 구동되는 나노트위저를 제작하고 구동전압 및 구동범위를 측정하였다.

사의 SMI2050 을 통해 이루어졌으며 증착조건은 Table 1 과 같다. 카본은 증착 후 기계적 성질이 우수하여 반복적인 동작에도 충분한 내구성을 보여주었다. 서로다른 모양의 트위저를 제작하기 위하여 구부러진 형태의 모양을 적용하였다. 먼저 Fig. 2 에서 보이는 두 전극의 모서리 부분에 45 도의 각도를 가진 짧은 길이의 필라가 증착되었다.

Table 1. Deposition condition

Deposition gas	Carbon
Current (pA)	8.3
Beam diameter (nm)	13
Dwell time( $\mu$ sec)	0.375
Diameter of pillar(nm)	200

#### 2. 나노트위저의 제작 및 실험결과

##### 2.1 나노트위저의 제작

나노트위저의 제작은 크게 전극제작과 필라 제작으로 구성된다. 전극은 충분히 도핑된 SOI 웨이퍼를 DRIE 공정을 통해 제작하였다. 1cm<sup>2</sup> 크기의 세라믹패키지에 와이어본딩 작업까지 마친 전극의 모습은 Fig. 1 과 같다. 전기적으로 절연된 전극의 간격은 5 $\mu$ m 이며 각각의 전극에 한개의 필라를 증착하였다. 집속이온빔 장치를 이용한 증착은 일본 SII

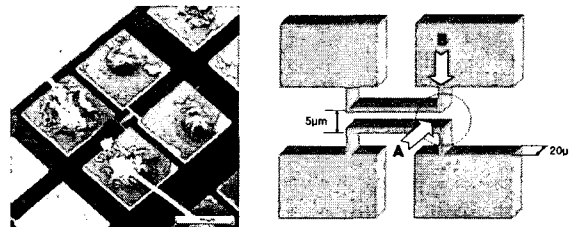


fig. 1 MEMS processed electrode and direction of deposition

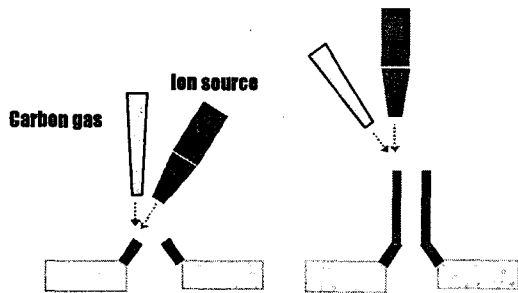


fig. 2 Schematic of fabrication method

짧은 필라의 길이와 각도를 조절함에 따라 서로 다른 간극을 가지는 트위저를 제작할 수 있었으며 이번 연구에서는 각각  $2.2\mu\text{m}$  와  $3.5\mu\text{m}$  의 간극을 가지는 트위저를 제작하였다. Fig. 2 의 오른쪽에서 보는 바와 같이 짧은 필라의 끝단에  $15\mu\text{m}$  길이의 트위저가 증착되었다. 완성된 트위저는 Fig. 1 의 B 방향에서 바라보았을 경우 평면에 대해 30 도의 각도를 가지고 있으며 각도조절은 0~60 도까지 가능하다. 트위저의 직경을 최대한 작게 만들기 위해 스팟빔을 이용하였으며 두개의 필라로 구성된 한개의 트위저를 제작하는 데 걸리는 시간은 약 30 분으로서 짧은 시간에 정밀한 형상을 가진 트위저를 제작할 수 있었다. Fig. 3 은 서로다른 두개의 간극을 가진 트위저가 완성된 사진이다.

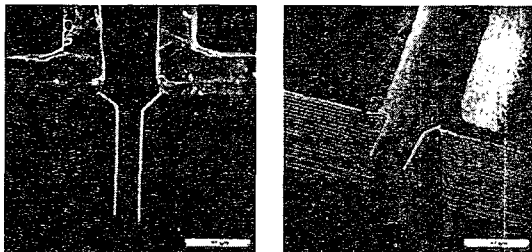


fig. 3 SIM image of fabricated tweezers

전압을 인가할 때 완성된 트위저의 한쪽은 접지로 이용하였으며 다른 한쪽의 전극에 (+) 전압인가를 통해 트위저의 움직임을 측정하고 트위저로서의 기능을 검증하였다.

## 2.2 실험결과

간극의 길이가 길어짐에 따라 스냅다운까지 필요한 인가전압의 크기도 증가하였다. 두개의 트위저에 대한 실험결과는 Fig. 4 와 같다.

$2.2\mu\text{m}$  와  $3.5\mu\text{m}$  의 간극을 가지는 트위저는 각각

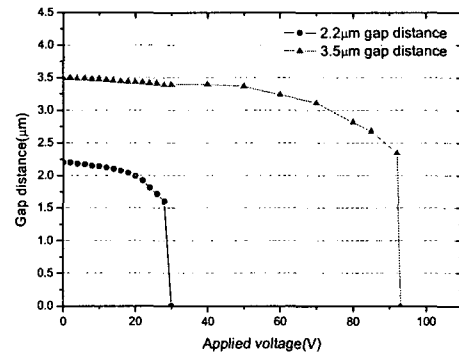


fig. 4 Results

30V 와 93V 에서 스냅다운이 일어났다. 그때의 간극은 각각  $1.6\mu\text{m}$  과  $2.4\mu\text{m}$  으로서 처음간극의 약 1/3 만큼의 구동범위를 가진다.

## 3. 결론

정전기력으로 구동하는 나노트위저를 집속이온 빔장치를 이용하여 성공적으로 제작하였다. 멤스공정을 통해 제작한 전극을 사용하여 제작효율을 높일 수 있었으며 새로운 형상을 적용하여 특정목적에 알맞은 맞춤형 트위저의 제작가능성을 제시하였다.  $2.2\mu\text{m}$  의 간극을 가지는 트위저의 경우 30V 이내의 비교적 낮은 전압에서 구동이 가능하였으며 100 회이상의 반복적 구동을 통해 내구성을 확인하였다. 향후 더 낮은 구동전압의 실현을 위해 3 차원 형상을 가지는 트위저제작을 연구중이며 유한요소 해석법을 이용한 분석이 진행중이다.

## 후 기

본 연구는 산업자원부가 지원하는 산업기술기반 조성사업 중 마이크로 나노 점 선 가공기반 구축 사업단의 지원으로 수행되었습니다.

## 참고문헌

1. Philip Kim and Chanrles M. Lieber, "Nanotube Nanotweezers," Nature, Vol.286, pp. 2148-2150, 1999.
2. Junsok Lee, Soohyun Kim, "Manufacture of a nanotweezer using a length controlled CNT arm," Sensors and Actuators A120, pp.193-198, 2005.
3. Reo Kometani .et al., "Characteristics of Nano-electrostatic actuator fabricated by focused ion beam chemical vapor deposition," Japanese Journal of Applied Physics, Vol. 43, No. 10, pp.7187-7191, 2004.