

## 다중벽 탄소나노튜브를 이용한 공진기 제작

이종홍\*, 서희원, 송진원, 한창수(한국기계연구원)

### Fabrication of a Resonator using suspended Multi-wall Carbon Nanotubes

J. H. Lee, H. W. Seo, J. W. Song, C. S. Han (Dept. of intelligent Precision Machine, KIMM)

#### ABSTRACT

A single-wall carbon nanotube (SWCNT) has been studied as a material of Nano-Electro-Mechanical-System (NEMS) device together with various nanowires. In order for oscillation of a multi-wall carbon nanotube (MWCNT) or a single-walled carbon nanotube (SWCNT) on plane surface, it needs suspension of a CNT across trench electrodes. So we propose fabrication method of a MWCNT resonator using dielectrophoresis and show successful results of suspended MWNT. Thin electrodes with large gaps could not suspend small diameter MWNT but thicker electrodes could. Thin MWNT could be suspended only when the electrode gap was reduced.

**Key Words :** NEMS(나노 전자기계 시스템), Multi-wall Carbon nanotube(다중벽 탄소나노튜브), Dielectrophoresis(유전 영동), Capillary force(모세관 힘), Resonator (공진기), Focus Ion-Beam(집속 이온빔)

#### 1. 서론

NEMS 기반의 resonator 는 초감도 질량 감지기, 라디오 주파수(RF) 신호 처리 등에 사용할 수 있다. 강성이 좋은 CNT 는 작은 밀도와 단면적을 가질 뿐만 아니라 결점도 없어 이런 응용을 위한 이상적인 물질로 평가 받고 있다.

이런 resonator 제작을 위해 전극 위에 CNT 를 정렬·조립하는 기술이 필수적이다. 양 전극 사이에 CNT 를 조립하는 방법은 화학 증기 증착법 (Chemical Vapor deposition)에 의한 성장, 전자빔 리소그래피(E-beam Lithography), 자기 조립(Self Assembly), 유전 영동(dielectrophoresis, DEP) 등의 방법이 있는데, 이 중에 유전 영동에 의해 다중벽 탄소나노튜브를 전극 사이에 띄운 상태로 조립하여 다중벽 탄소나노튜브 공진기를 제작하였다.

#### 2. 이론적 배경

유전 영동으로 CNT를 전극 사이에 정렬·조립해도 CNT를 분산한 용매가 마르면서 CNT와  $\text{SiO}_2$  기판 사이에 발생하는 모세관 힘에 의해 CNT가 휘어져 달라붙는다. Fig. 1 은 유전 영동으로 CNT를 전극 사이에 조립했지만, 모세관 힘에 의해 휘어지는 현상을 개념적으로 보여준 것이다.

Fig. 1 과 같이 유전 영동으로 Pt 전극 사이에 CNT 양 끝이 부착된 후 CNT 분산 용액이 증발하면서 CNT를  $\text{SiO}_2$  기판으로 끌어당겨 바닥에 붙도록 만들고, 용액이 다 증발되면 반데르발스 힘에 의해 바닥에 붙어 있는 상태를 유지하게 된다.

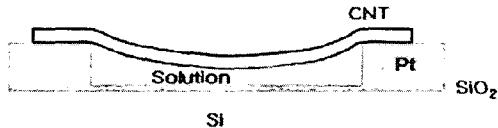


Fig. 1 Schematic view of a fabricated electrode structure and bending deflection of the CNT by capillary force

이 때, CNT 의 최대 측정은 식 (1)에 의해 얻을 수 있다.

$$\delta_{\max} = \frac{ql^4}{384EI} \quad (1)$$

식 (1)에서  $q$  는 단위 길이당 받는 힘,  $l$  은 CNT 의 길이,  $E$  는 영의 계수,  $I$  는 2 차 관성 모멘트이다. 또,  $q$  는 모세관 힘으로, 식 (2)와 같이 나타낼 수 있다.

$$q = S\gamma \cos\theta/z \quad (2)$$

식 (2)에서  $S$  는 CNT 를 잡아당기는 면적,  $\gamma$  는 단위 접촉 면적당 부착 에너지,  $\cos\theta$  는 고체-액체 계면의 접촉각,  $z$  는 CNT 와 기판 사이의 거리이다. 이 식으로 모세관 힘을 구할 수도 있지만,  $\gamma$  와  $\cos\theta$  의 계산이나 측정이 어렵고, CNT 의 움직임도 비선형적이라 식의 단순 적용은 매우 어렵다.

그렇지만, (1) 식으로 CNT 를 띄우는 것은 전극 두께와 CNT 의 지름은 증가시키고, 길이는 감소시킴으로 가능함을 알 수 있다.

### 3. 실험

Fig. 2 는 다중벽 탄소나노튜브를 전극 사이에 조립한 전자현미경 사진이다. 다중벽 탄소나노튜브 분산 용액의 농도, 부피, 전압, 주파수 등으로 유전 영동 힘을 조절하여 5ug/ml, 0.5ul, 5V, 10MHz 의 조건으로 하나만 붙였다.

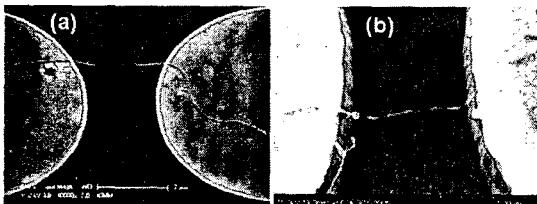


Fig. 2 SEM images of an individually assembled MWCNT made using (a) CVD for a 50 nm-thick metal (Pt) electrode, and (b) arc discharge for a 200 nm-thick Au electrode.

하지만, 전극 끝의 경사와 모세관 힘으로 가라앉게 된다. 일반적으로 CNT 분산 용액이 마르면서 모세관 힘이 CNT를 바닥으로 끌어당긴다.

따라서 바닥에 붙지 않도록 전극 높이와 다중벽 탄소나노튜브의 지름을 증가시켰다. Fig. 3 은 CVD로 제조된 다중벽 탄소나노튜브를 50, 200, 500 nm 높이에 조립한 것으로, 200 와 500 nm 높이의 전극 끝에 경사가 있었지만, 그것에 상관없이 떠웠다.

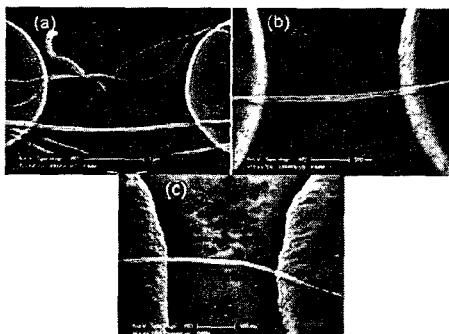


Fig. 3 SEM images for (a) 50, (b) 200 and (c) 500 nm-thick electrodes

Table. 1 Success rate of suspension for individually assembled sample

MWCNT Diameter Electrode thickness	10~50nm	50~100nm	100nm~
50 nm	0%	33%	-
200 nm	0%	42%	50%
500 nm	25%	100%	100%

Fig. 2 와 3 과 같이 전극 높이와 다중벽 탄소나노튜브의 직경에 따른 최적 조립 조건을 알아내는 표 1의 실험을 했다. 그 결과로 다중벽 탄소나노튜브의 직경이 50 nm 이상일 때 전극 사이에 떠울 수 있었다.

또, 간격 거리를 짧게 하여 다중벽 탄소나노튜브를 떠우려고 Focus Ion-Beam으로 Pt를 50 nm 높이로 증착했다. 원래 전극 사이의 거리는 2μm 였지만, 700nm로 줄였고, 제작된 전극과 Arc-discharge로 제조된 직경 30nm의 다중벽 탄소나노튜브 조립 결과로 Fig. 5 처럼 떠올 수 있었다. CNT의 탄성이 모세관 힘을 극복할 수 있도록 전극 사이의 거리를 작게 하면 CNT를 떠울 수 있음을 확인했다.

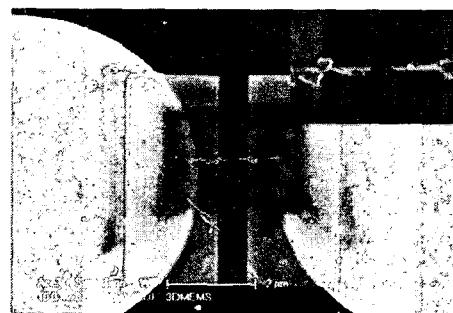


Fig. 4 SEM image of an individual MWCNT aligned over a Pt electrode deposited using FIB.

### 4. 결론

본 연구에서 다중벽 탄소나노튜브를 유전 영동으로 높이가 있는 전극 사이에 떠울 수 있었다. 전에는 유전 영동으로 하면 개별화된 다중벽 탄소나노튜브가 바닥에 붙었는데, 다중벽 탄소나노튜브의 직경과 길이, 전극 높이의 다양화를 통해 최적 조건을 확립할 수 있었다

### 후기

본 연구는 한국기계연구원 자체 연구사업, 환경부의 Echo-STAR 과제 및 과학기술부 21 세기 프론티어 사업단의 지원을 받아 수행되었습니다.

### 참고문헌

- Seo, H. W., Han, C. S., Choi, D. G., Kim K. S., Lee, Y. H., "Controlled assembly of single SWNTs bundle using dielectrophoresis," Microelectronic Engineering, Vol. 81, pp. 83-89, 2005
- C. H. Mastrangelo., Member, IEEE and C. H. Hsu., Member, IEEE, "Mechanical Stability and Adhesion of Microstructures Under Capillary Forces-Part I: Basic Theory", Journal of Microelectromechanical Systems, Vol. 2, No. 1, pp33-43, 1993.