

# 터널링 효과를 이용한 캔틸레버형 폴리머/탄소나노튜브 센서

<sup>1</sup>이지창, <sup>1</sup>조석민, 추승원, <sup>1</sup>박창신, <sup>2</sup>이동원\*,  
<sup>1</sup> 전남대학교대학원 기계공학과, <sup>2</sup> 전남대학교 기계시스템공학부  
E-mail: mems@chonnam.ac.kr

## Cantilevered Sensor Based on Tunneling Effect in a Polymer/Carbon Nanotube Composite

<sup>1</sup>Ji-Chang Lee, <sup>1</sup>Seok-Min Cho, Seung-Won Choo, <sup>1</sup>Chang-Sin Park, <sup>2</sup>Dong-Weon Lee\*

<sup>1</sup>Graduate School of Mechanical Engineering, Chonnam National University,

<sup>2</sup>School of Mechanical Systems Engineering, Chonnam National University

### Abstract

This paper describes an integrated tunneling device for scanning force microscope. The CNT is used as a tunneling material. The integrated tunneling device on a silicon cantilever provides much higher sensitivity in comparison with others sensing methods. The tunneling device is placed on a fixed edge where the maximum strain arises. By measuring a tunneling current as a function of vibration amplitude of the cantilever, it can be used as a high sensitive deflection sensor for various applications. The tunneling device has been fabricated using a conventional MEMS technology.

Keyword—CNT(탄소나노튜브), *Cantilever*(캔틸레버), *Tunneling effect*(터널링 효과), *SU-8*,

### 1. 서론

기존의 실리콘을 이용한 캔틸레버형 고감도 센서는 물리적 현상의 변화에 비례하여 변화하는 캔틸레버의 고유주파수 또는 진동 변위를 측정하여, 미소 변화량을 정량적으로 검출하고 이를 유용하게 이용하기 위해서 전기적인 신호로 변환하는 센서이다. 캔틸레버형 센서는 화학 및 생체 물질 센서로뿐만 아니라 물리적 센서로의 사용이 가능하고, 대기, 진공 및 액체 환경에서 작동할 수 있으며 실시간 및 현장(in-situ) 측정이 가능한 장점을 가지고 있다. 현재 캔틸레버를 사용한 센서들의 변위검출 방법들에는 주로 광 검출법, 정전 용량법, 압전 재료, 압저항의 이용법 등이 있다. 광 검출 방법은 민감도가 우수하기 때문에 가장 많이 상용화 되어 있지만, 시스템의 소형화가 어렵다는 단점을 가지고 있다. 압전 재료, 실리콘의 압저항 특성을 이용하는 방법은 변위 센서를 소자의 내부에 집적화할 수 있어 소형화가 가능하다는 장점을 가지지만, 민감도가 우수하지 않아 고감도 센서의 응용으로는 부적합하다는 단점을 가지고 있다. 본 연구에서는 기존 방법들의 단점을 개선하기 위하여 캔틸레버 위에 집적화된 탄소나노튜브를 통해 흐르는 터널링 전류를 이용한 변위 검출 방법에 대해서 제안한다. 센싱에 사용되는 탄소나노튜브(CNT)의

전기적·기계적 특성이 탄소나노튜브의 구조적 특성에 따라 서로 다르게 나타나는 것은 최근의 실험 결과에서 많이 연구되었다[1-3].

### 2. 본론

#### 2.1 설계 및 검출 원리

그림 1 은 터널링 효과를 이용한 초고감도 센서의 구성을 보여준다. 터널링 효과를 이용한 초고감도 센서는 전극 사이에 탄소나노튜브 도포시킨 구조로 되어있다. 전극은 RF Sputter 를 이용하여서 30nm 두께의 크롬(Cr)을 증착하였다. 센서로 사용된 탄소나노튜브는 스프레이 방법을 이용해서 도포를 시킨다. 탄소나노튜브는 캔틸레버의 변위가 발생했을 때 캔틸레버의 표면에서 가장 큰 변형률(strain)이 발생하는 부분에 위치해야 한다. 그 이유는 외력이 작용하였을 경우 가장 큰 변형을 일으키는 곳에서 최대값의 인장력 혹은 압축력이 작용하기 때문에 동일한 외력 작용 시 가장 큰 감도를 얻을 수 있기 때문이다. 터널링 효과를 이용한 센서의 검출 원리는 다음과 같다. 캔틸레버의 표면에 외력이 작용해 캔틸레버에 변위가 발생하면 탄소나노튜브가 도포된 부분에 가장 큰 인장력(혹은 압축력)이 작용하게 되고 이러한 외력에 의해 변형이 발생해 도포된 탄소나노튜브간의 간격이 변화하며 터널링 전류가 발생 혹은 전류의 크기가 변하게 된다. 그림 2 는 터널링 효과를 이용하는 센서의 센싱 원리를 보여준다.

#### 2.2 소자 제작

그림 3 은 터널링 효과를 이용한 센서의 제작과정을 보여준다. 터널링 효과를 이용한 캔틸레버의 미소 변위를 측정하는 센서를 제작하기 위해서 P-type 웨이퍼를 사용하였다. 센서를 제작하기 위해서 먼저 기본 클리닝을 한 후, 첫번째 공정은 디바이스를 분리시키기 위한 밑바닥층(Seed layer)을 열증착기(Thermal Evaporator)를 이용하여 알루미늄(Al)을 100nm 를 증착한다. 두번째로 SU-8 을 이용해서 2 $\mu$ m 두께의 캔틸레버 패터를 하였다. 세번째로 캔틸레버 패터위에 RF Sputter 를 사용하여 30nm 두께의 크롬(Cr) 전극을 증착한 후 감광막(Photo resist)를 이용하여 패터를 하고, 네번째로 탄소나노튜브를 스프레이 방법을 통해서 메탈 위에 뿌려준다. 다섯번째로 탄소나노튜브를 고정하기

위해서 SU-8 10  $\mu\text{m}$  패턴을 한다. 마지막으로 SU-8 을 이용해서 200  $\mu\text{m}$  두께의 몸통부분을 패턴 하였다. 이렇게 제작된 디바이스를 Al etchant 를 이용해서 분리 시키고, 다음으로 센서로 사용될 탄소나노튜브를 스프레이 방법으로 농도를 0wt%~5wt%로 달리해서 도포시킨다. 그림 4 는 제작된 터널링 효과를 이용한 캔틸레버 센서이다.

### 3. 결과

제작한 센서의 터널링 특성을 측정하기 위해서 프로브 스테이션(probe station)을 이용하여 실험하였다. 프로브 스테이션 위에 실험용 디바이스를 놓고 미세이동 장치를 이용하여 배선을 양쪽에 접촉을 시킨다. 다음으로 소스 미터(source meter)를 이용하여 양쪽전극에 바이어스를 인가하여 센서를 통해 전압의 변화에 따른 직접 터널링 전류 밀도(direct tunneling current density)의 변화를 측정한다.

### 4. 결론

본 논문에서는 고감도를 가지는 캔틸레버를 이용하여 진동에 의한 진폭, 공진 주파수를 측정할 수 있는 우수한 변위 센서의 개념을 제안하고 마이크로머시닝 기술을 이용하여 제작하여 전기적인 특성을 평가하였다. 탄소나노튜브에 의해서 제작된 터널링 센서는 캔틸레버 위에 집적화하여 사용할 수가 있으며 매우 고감도를 제공한다.

### 감사의 글

이 논문은 2007 년도 정부(과학기술부)의 재원으로 한국과학재단의 국가지정연구실사업으로 수행된 연구임 (Grant R0A-2007-000-10157-0).

### 참고문헌

- [1] C. J. Lee et al., Synthesis of uniformly distributed carbon nanotubes on a large area of Si substrates by thermal chemical vapor deposition, Appl. Phys. Lett. 75, 1721 (1999).
- [2] R. S. Ruoff et al., Mechanical properties of carbon nanotubes: theoretical predictions and experimental measurements, C. R. Physique 4, 993 (2003).
- [3] L. Zhu et al., Growth and electrical characterization of high-aspect-ratio carbon nanotube arrays, Carbon 44, 253 (2006).

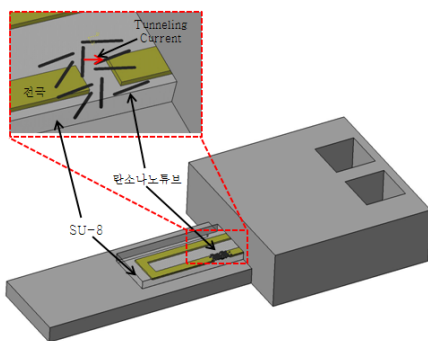


그림. 1 터널링 효과를 이용한 고감도 센서 개략도

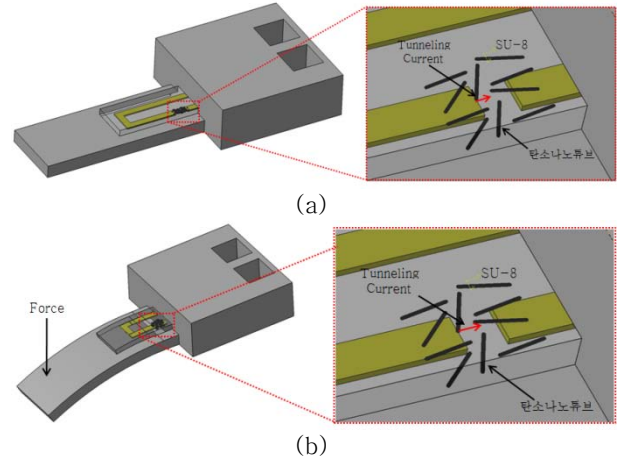


그림. 2 터널링 효과를 이용한 캔틸레버 센서원리; (a) 캔틸레버가 휘어지기 전, (b) 캔틸레버가 휘어진 후

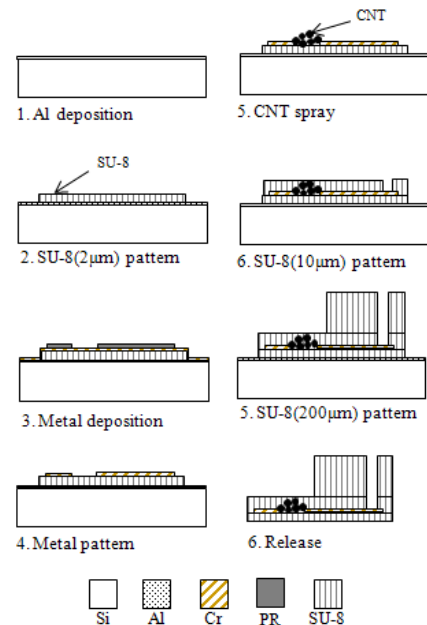


그림. 3 터널링 효과를 이용한 고감도 센서의 제작 공정

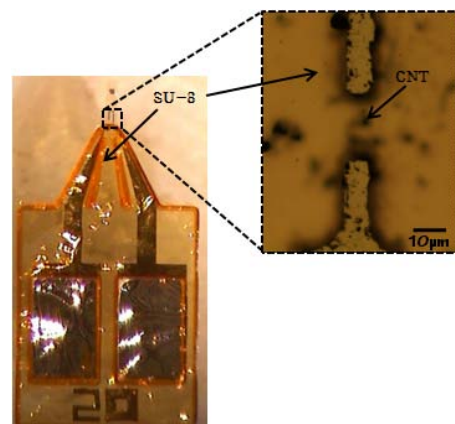


그림. 4 터널링 효과를 이용한 고감도 센서