



(19) 대한민국특허청(KR)  
(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2020년12월14일  
(11) 등록번호 10-2190704  
(24) 등록일자 2020년12월08일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)  
B82B 1/00 (2017.01) B82B 3/00 (2017.01)  
C01B 32/158 (2017.01) B82Y 30/00 (2017.01)  
(52) CPC특허분류  
B82B 1/008 (2013.01)  
B82B 3/0038 (2013.01)  
(21) 출원번호 10-2019-0047562  
(22) 출원일자 2019년04월23일  
심사청구일자 2019년04월23일  
(65) 공개번호 10-2020-0124105  
(43) 공개일자 2020년11월02일  
(56) 선행기술조사문헌  
Nanomaterials 2017, 7, 346 (2017.10.25.) 1부.\*  
대한기계학회 춘추학술대회, 20쪽 (2013.05.31.) 1부.\*  
대한기계학회 춘추학술대회, 37쪽 (2017.11.03.) 1부.\*  
\*는 심사관에 의하여 인용된 문헌

(73) 특허권자  
연세대학교 산학협력단  
서울특별시 서대문구 연세로 50 (신촌동, 연세대학교)  
(72) 발명자  
류원형  
경기도 고양시 일산서구 대산로 161, 503동 1404호 (주엽동, 문촌마을5단지아파트)  
양다솜  
서울특별시 서대문구 통일로 348, 106동 105호 (홍제동, 무악청구아파트)  
(74) 대리인  
특허법인 하나

전체 청구항 수 : 총 9 항

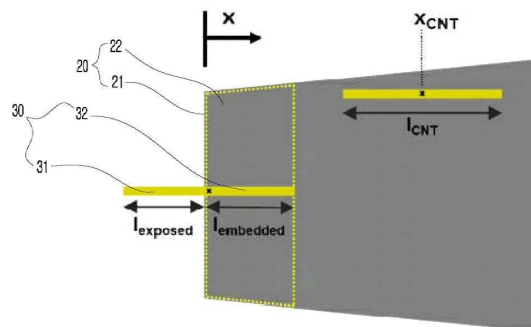
심사관 : 양정화

(54) 발명의 명칭 파단모드 제어를 통하여 파단면에 자동정렬된 1차원 나노구조물이 노출되는 팁 및 이를 제조하는 방법

(57) 요약

본 발명의 일 실시예는 팁 본체부; 일단이 상기 팁 본체부 상에 형성되며, 타단에는 파단면을 포함하는 고분자 나노프로브; 및 일부는 상기 고분자 나노프로브에 매립되며, 일부는 상기 고분자 나노프로브의 파단면 외부에 자동정렬되는 1차원 나노구조물을 포함하되, 상기 1차원 나노구조물은 파단면 내부에 매립되는 길이( $l_{\text{embedded}}$ )가, 파단면 외부로 노출되는 길이( $l_{\text{exposed}}$ )보다 상대적으로 길게 형성되는, 파단모드 제어를 통하여 파단면에 자동정렬된 1차원 나노구조물이 노출되는 팁을 제공한다.

대표도



(52) CPC특허분류

**C01B 32/158** (2017.08)

*B82Y 30/00* (2013.01)

공지예외적용 : 있음

---

## 명세서

### 청구범위

#### 청구항 1

팁 본체부;

일단이 상기 팁 본체부 상에 형성되며, 타단에는 파단면을 포함하는 고분자 나노프로브; 및

일부는 상기 고분자 나노프로브에 매립되며, 일부는 상기 고분자 나노프로브의 파단면 외부에 자동정렬되는 1차원 나노구조물을 포함하되,

상기 1차원 나노구조물은 파단면 내부에 매립되는 길이( $l_{\text{embedded}}$ )가, 파단면 외부로 노출되는 길이( $l_{\text{exposed}}$ )보다 상대적으로 길게 형성되고

상기 고분자 나노프로브는, 파단면이 취성 파괴를 통하여 형성되는 것을 특징으로 하는, 파단모드 제어를 통하여 파단면에 자동정렬된 1차원 나노구조물이 노출되는 팁.

#### 청구항 2

팁 본체부;

일단이 상기 팁 본체부 상에 형성되며, 타단에는 파단면을 포함하는 고분자 나노프로브; 및

일부는 상기 고분자 나노프로브에 매립되며, 일부는 상기 고분자 나노프로브의 파단면 외부에 자동정렬되는 1차원 나노구조물을 포함하되,

상기 1차원 나노구조물은 파단면 내부에 매립되는 길이( $l_{\text{embedded}}$ )가, 파단면 외부로 노출되는 길이( $l_{\text{exposed}}$ )보다 상대적으로 길게 형성되고,

상기 1차원 나노구조물은 탄소나노튜브(CNT)이며,

상기 고분자 나노프로브는, 직경( $d_{\text{probe}}$ ) 및 고분자 내 CNT의 농도( $c_{\text{CNT}}$ ) 중 어느 하나 이상이 조절되며, 파단면에 노출되는 상기 CNT의 개수( $n_{\text{CNT}}$ )가 하기의 수식에 따라 제어되는 것을 특징으로 하는, 파단모드 제어를 통하여 파단면에 자동정렬된 1차원 나노구조물이 노출되는 팁.

$$n_{\text{CNT}} = k \cdot c_{\text{CNT}} \cdot \frac{\rho_{\text{probe}}}{\rho_{\text{CNT}}} \cdot \frac{d_{\text{probe}}^2}{2(d_{\text{CNT}})^2}$$

(이때,  $k$ 는 분산제, 양이온의 광개시제의 첨가로 인해 발생하는 상수값을,

$\rho_{\text{probe}}$ 는 상기 고분자 나노프로브의 밀도를,

$\rho_{\text{CNT}}$  및  $d_{\text{CNT}}$ 는 각각 상기 CNT의 밀도 및 직경을 의미함)

#### 청구항 3

제2항에 있어서,

상기 고분자 나노프로브의 파단면에 상기 CNT가 단일하게 노출되도록 형성되는 것을 특징으로 하는, 파단모드 제어를 통하여 파단면에 자동정렬된 1차원 나노구조물이 노출되는 팁.

#### 청구항 4

팁 본체부를 가열시키는 가열단계;

상기 가열된 팁 본체부를 고분자에 접촉시켜, 상기 고분자를 국부적으로 가열시키는 접촉단계;

상기 팁 본체부를 상기 국부적으로 가열된 고분자와 멀어지는 방향으로 끌어당김으로써, 고분자 나노프로브를

형성하는 인장단계; 및

지속적인 인장을 가함으로써 상기 고분자 나노프로브의 파괴를 유발하여, 고분자 나노프로브의 파단면을 형성하는 파단단계를 포함하고,

상기 파단단계는,

상기 고분자를 유리전이온도 이하에서 냉각시키는 단계;

상기 고분자 내부의 1차원 나노구조물이 고정되는 단계; 및

지속적인 인장을 가함으로써 상기 고분자 나노프로브의 파괴를 유발하여, 상기 고분자 나노프로브에 취성 파단면을 형성하는 단계를 더 포함하는 것을 특징으로 하는, 파단모드 제어를 통하여 파단면에 자동정렬된 1차원 나노구조물이 노출되는 팁의 제조방법.

#### 청구항 5

제4항에 있어서,

상기 1차원 나노구조물은 탄소나노튜브(CNT)인 것을 특징으로 하는, 파단모드 제어를 통하여 파단면에 자동정렬된 1차원 나노구조물이 노출되는 팁의 제조방법.

#### 청구항 6

제5항에 있어서,

상기 파단단계는, 200 $\mu$ m/s 이상의 속도로 인장을 가하여 취성 파괴를 유발하는 것을 특징으로 하는, 파단모드 제어를 통하여 파단면에 자동정렬된 1차원 나노 구조물이 노출되는 팁의 제조방법.

#### 청구항 7

제5항에 있어서,

상기 인장단계는, 직경( $d_{probe}$ ) 및 고분자 내 CNT의 농도( $c_{CNT}$ ) 중 어느 하나 이상을 조절하여, 파단면에 노출되는 상기 CNT의 개수( $n_{CNT}$ )가 하기의 수식에 따라 제어하는 것을 특징으로 하는, 파단모드 제어를 통하여 파단면에 자동정렬된 1차원 나노구조물이 노출되는 팁의 제조방법.

$$n_{CNT} = k \cdot c_{CNT} \cdot \frac{\rho_{probe}}{\rho_{CNT}} \cdot \frac{d_{probe}^2}{2(d_{CNT})^2}$$

(이때, k는 분산제, 양이온의 광개시제의 첨가로 인해 발생하는 상수값을,

$\rho_{probe}$ 는 상기 고분자 나노프로브의 밀도를,

$\rho_{CNT}$  및  $d_{CNT}$ 는 각각 상기 CNT의 밀도 및 직경을 의미함)

#### 청구항 8

제7항에 있어서,

상기 고분자 나노프로브의 파단면에 상기 CNT가 단일하게 노출되도록 형성되는 것을 특징으로 하는, 파단모드 제어를 통하여 파단면에 자동정렬된 1차원 나노 구조물이 노출되는 팁의 제조방법.

#### 청구항 9

제7항에 있어서,

상기 인장단계는, 인장 온도와 인장 거리( $l_{drawing}$ )를 조절함으로써, 상기 CNT가 노출된 고분자 나노프로브의 전체 길이( $l_{nanoprobe}$ )를 제어하는 것을 특징으로 하는, 파단모드 제어를 통하여 파단면에 자동정렬된 1차원 나노구조물이 노출되는 팁의 제조방법.

#### 청구항 10

삭제

## 청구항 11

삭제

## 청구항 12

삭제

## 발명의 설명

### 기술 분야

[0001] 본 발명은 1차원 나노구조물이 노출되는 팁 및 이를 제조하는 방법에 관한 것으로, 더욱 상세하게는 열 인장 공장에서 간단한 파단 공정 제어를 통해 벌크한 셋업에서 자동으로 정렬된 1차원 나노구조물이 파단면에 노출되는 팁 및 이를 제조하는 방법에 관한 것이다.

### 배경 기술

[0002] 현재, 고종횡비 1차원 나노 구조물은 기계, 전자, 에너지 등 다양한 분야에서 활용된다. 일례로서 원자현미경 (Atomic Force Microscopy, AFM)에서는 이미지의 해상도가 팁의 끝단 직경에 의존하기 때문에, 팁의 직경을 최소화시키는 것이 매우 중요하다. 특히 3차원 나노구조물에서 트렌치의 벽면을 이미징하거나 홀을 정밀하게 이미징하기 위해서는, half angle이 작아 접근성이 좋으며 이미징에 적합한 방향으로 정렬되고, AFM 캔틸레버와 안정적으로 부착되어 있는 고종횡비의 팁 제작이 필수적이다.

[0003] 이러한 고종횡비 팁을 직접 제작하는데는 이온 빔 밀링(Focused Ion Beam, FIB) 등의 top-down 식각 기술 또는 화학기상증착법(Chemical Vapor Deposition, CVD) 등의 bottom-up 기반 증착 기술이 주로 사용되고 있다.

[0004] 하지만 이러한 기존 반도체 기반 정밀 제작 기술은 공정속도가 느려 고종횡비 구조물의 제작에 많은 공정 시간과 비용이 소모된다. 이러한 이유로, AFM 팁에 고종횡비 구조물을 직접 제작하는 대신, 기존에 존재하는 고종횡비 구조물인 1차원 나노구조물을 팁에 부착 공정하여 공정시간 및 비용을 단축하고자 하는 연구들이 진행되고 있다.

[0005] 1차원 나노구조물은 와이어 또는 실린더 형상의 1차원적인 나노 스케일의 구조물을 의미하며, 대표적으로는 탄소나노튜브(Carbon nanotube, CNT)가 부착될 수 있다. 그 외에도 금이나 백금, 은 나노와이어 등 금속 나노와이어나 Si, ZnO 등 반도체 나노 와이어, SiO<sub>2</sub> 등 절연성 나노와이어 등이 부착될 수 있다.

[0006] 위와 같은 1차원 나노구조물을 벌크 스케일에서 AFM 팁에 부착시키기 위하여 주로 Dielectrophoresis(DEP) 공정이 사용된다. 이는 1차원 나노구조물에 AFM 팁을 접촉시킨 후 전류를 흘리는 공정으로, 1차원 나노구조물과 AFM 팁 간의 반데르발스 힘으로 1차원 나노구조물을 AFM 팁 표면에 부착되게 된다.

[0007] 하지만 위와 같은 방식으로 1차원 나노구조물이 부착된 팁은 AFM 팁 표면에 단순 정전기적 인력으로 부착되어 있는 것에 불과하므로 부착력이 취약하며, 실제 이미징 수행시 AFM 캔틸레버 표면에서 1차원 나노구조물이 쉽게 떨어져나가는 한계가 존재한다. 또한, 공정 상에서 1차원 나노구조물이 AFM 팁의 표면에 부착되는 각도를 제어할 수 없으므로, 이미징에 적합한 방향으로 정렬되기 얻기 어렵다는 문제가 있다.

[0008] 따라서 DEP 공정을 이용하여 1차원 나노구조물이 부착된 AFM 팁을 이미징에 활용하기 위해서는, 1차원 나노구조물의 정렬각도 조절 및 접착층의 증착 등 FIB를 사용한 후처리 공정이 수반되어야 하나, 위 후처리 공정이 많은 시간과 비용이 소모되므로 공정의 경제성 및 효율성 측면에서 문제가 있다. 이와 같은 문제를 해결하기 위하여, 단일 공정으로써 벌크 스케일에서 정렬된 1차원 나노구조물을 간편하게 매립 및 노출시키는 기술의 제시가 절실히 요구된다.

### 선행기술문헌

### 특허문헌

[0009] (특허문헌 0001) 대한민국 공개특허공보 제10-2010-0026102호 (2010.03.10)

## 발명의 내용

### 해결하려는 과제

[0010] 본 발명은 전술한 종래 기술의 문제점을 해결하기 위한 것으로, 본 발명의 목적은 열 인장 공정에서 간단한 파단 공정 제어를 통해 벌크한 셋업에서 파단면에 1차원 나노구조물이 정렬되어 노출되는 팁 및 이를 제작하는 기술을 제공하는 것이다.

### 과제의 해결 수단

[0011] 본 발명의 일 측면은 팁 본체부; 일단이 상기 팁 본체부 상에 형성되며, 타단에는 파단면을 포함하는 고분자 나노프로브; 및 일부는 상기 고분자 나노프로브에 매립되며, 일부는 상기 고분자 나노프로브의 파단면 외부에 자동정렬되는 1차원 나노구조물을 포함하되, 상기 1차원 나노구조물은 파단면 내부에 매립되는 길이( $l_{\text{embedded}}$ )가, 파단면 외부로 노출되는 길이( $l_{\text{exposed}}$ )보다 상대적으로 길게 형성되는, 파단모드 제어를 통하여 파단면에 자동정렬된 1차원 나노구조물이 노출되는 팁을 제공한다.

[0012] 일 실시예에 있어서, 상기 1차원 나노구조물은 탄소나노튜브(CNT)인 것일 수 있다.

[0013] 일 실시예에 있어서, 상기 고분자 나노프로브는 파단면이 취성 파괴를 통하여 형성되는 것일 수 있다.

[0014] 일 실시예에 있어서, 상기 고분자 나노프로브는, 직경( $d_{\text{probe}}$ ) 및 고분자 내 CNT의 농도( $c_{\text{CNT}}$ ) 중 어느 하나 이상이 조절되며, 파단면에 노출되는 상기 CNT의 개수( $n_{\text{CNT}}$ )가 식 (7)에 따라 제어되는 것일 수 있다.

[0015] 일 실시예에 있어서, 상기 고분자 나노프로브의 파단면에 상기 CNT가 단일하게 노출되도록 형성되는 것일 수 있다.

[0016] 본 발명의 또 다른 측면은 팁 본체부를 가열시키는 가열단계; 상기 가열된 팁 본체부를 고분자에 접촉시켜, 상기 고분자를 국부적으로 가열시키는 접촉단계; 상기 팁 본체부를 상기 국부적으로 가열된 고분자와 멀어지는 방향으로 끌어당김으로써, 고분자 나노프로브를 형성하는 인장단계; 및 지속적인 인장을 가함으로써 상기 고분자 나노프로브의 파괴를 유발하여, 고분자 나노프로브의 파단면을 형성하는 파단단계를 포함하는, 파단모드 제어를 통하여 파단면에 자동정렬된 1차원 나노구조물이 노출되는 팁의 제조방법을 제공한다.

[0017] 일 실시예에 있어서, 상기 파단단계는, 상기 고분자를 유리전이온도 이하에서 냉각시키는 단계; 상기 고분자 내부의 1차원 나노구조물이 고정되는 단계; 및 지속적인 인장을 가함으로써 상기 고분자 나노프로브의 파괴를 유발하여, 상기 고분자 나노프로브에 취성 파단면을 형성하는 단계를 더 포함하는 것일 수 있다.

[0018] 일 실시예에 있어서, 상기 1차원 나노구조물은 탄소나노튜브(CNT)인 것일 수 있다.

[0019] 일 실시예에 있어서, 상기 파단단계는 200 $\mu\text{m/s}$  이상의 속도로 인장을 가하여 취성 파괴를 유발하는 것일 수 있다.

[0020] 일 실시예에 있어서, 상기 인장단계는 직경( $d_{\text{probe}}$ ) 및 고분자 내 CNT의 농도( $c_{\text{CNT}}$ ) 중 어느 하나 이상을 조절하여, 파단면에 노출되는 상기 CNT의 개수( $n_{\text{CNT}}$ )가 식 (7)에 따라 제어하는 것일 수 있다.

[0021] 일 실시예에 있어서, 상기 고분자 나노프로브의 파단면에 상기 CNT가 단일하게 노출되도록 형성되는 것일 수 있다.

[0022] 일 실시예에 있어서, 상기 인장단계는, 인장 온도와 인장 거리( $l_{\text{drawing}}$ )를 조절함으로써, 상기 CNT가 노출된 고분자 팁의 전체 길이( $l_{\text{nanoprobe}}$ )를 제어하는 것일 수 있다.

## 발명의 효과

[0023] 본 발명의 일 측면에 따르면, 간편한 공정 장비와 수십초 이내의 극히 짧은 공정시간으로 정렬된 1차원 나노구조물이 노출된 고종형비 팁을 제작할 수 있다.

- [0024] 또한, 공정 과정 도중에 1차원 나노구조물이 자동으로 정렬되므로, 1차원 나노구조물의 노출 각도를 재조정하기 위한 추가적인 공정이 불필요하며, 공정 변수 제어를 통해 노출되는 1차원 나노구조물의 개수를 손쉽게 제어할 수 있다.
- [0025] 또한, 1차원 나노구조물이 고분자에 매립되어 있어, 1차원 나노구조물과 팁 간의 부착이 안정적인 만큼 추가적인 접착층의 증착이 불필요하며, 열 인장 공정을 사용하기 때문에 다양한 시제품의 표면에 손쉽게 정렬된 1차원 나노구조물이 노출된 팁을 추가 제작하는 것이 용이하다.
- [0026] 본 발명의 효과는 상기한 효과로 한정되는 것은 아니며, 본 발명의 상세한 설명 또는 청구범위에 기재된 발명의 구성으로부터 추론 가능한 모든 효과를 포함하는 것으로 이해되어야 한다.

### 도면의 간단한 설명

- [0027] 도 1은 본 발명의 일 실시예에 의하여 단일 1차원 나노구조물이 노출되도록 형성된 고분자 나노 프로브의 단면도이다.
- 도 2는 본 발명의 일 실시예에 의하여 하나 이상의 1차원 나노구조물이 노출되도록 형성된 고분자 나노 프로브의 단면도이다.
- 도 3은 본 발명의 1차원 나노구조물의 위치를 무게중심의 좌표로 나타낸 고분자 나노 프로브의 단면도이다.
- 도 4는 본 발명에 따른 1차원 나노구조물이 노출되는 팁의 제조방법의 방법흐름도이다.
- 도 5는 본 발명에 따른 1차원 나노구조물이 노출되는 팁의 제조방법의 모식도이다.
- 도 6은 본 발명에 따른 1차원 나노구조물이 노출되는 팁의 제조방법의 광학이미지이다.
- 도 7은 본 발명에 실험예에 따라 제조된 단일 CNT가 노출된 고분자 나노프로브의 전자현미경 이미지이다.
- 도 8은 본 발명에 실험예에 따라 파단모드를 조절하여 제조된 고분자 나노프로브 파단면의 실험이미지 및 실험 그래프이다.
- 도 9 및 도 10은 본 발명에 실험예에 따라 팁 직경 또는 CNT의 농도를 조절 하여 제조된 고분자 나노프로브 파단면의 이미지이다.
- 도 11은 본 발명에 따라 CNT의 농도와 팁 직경에 따라 예측된 CNT의 노출 개수 및 본 발명의 실험예에 따라 실제 CNT의 노출 개수를 비교 도시한 그래프이다.
- 도 12는 본 발명에 실험예에 따라 인장온도 및 인장거리를 제어한 이미지 및 실험데이터를 도시한다.

### 발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

- [0028] 이하에서는 첨부한 도면을 참조하여 본 발명을 설명하기로 한다. 그러나 본 발명은 여러 가지 상이한 형태로 구현될 수 있으며, 따라서 여기에서 설명하는 실시예로 한정되는 것은 아니다. 그리고 도면에서 본 발명을 명확하게 설명하기 위해서 설명과 관계없는 부분은 생략하였으며, 명세서 전체를 통하여 유사한 부분에 대해서는 유사한 도면 부호를 붙였다.
- [0029] 명세서 전체에서, 어떤 부분이 다른 부분과 "연결"되어 있다고 할 때, 이는 "직접적으로 연결"되어 있는 경우뿐 아니라, 그 중간에 다른 부재를 사이에 두고 "간접적으로 연결"되어 있는 경우도 포함한다. 또한 어떤 부분이 어떤 구성요소를 "포함"한다고 할 때, 이는 특별히 반대되는 기재가 없는 한 다른 구성요소를 제외하는 것이 아니라 다른 구성요소를 더 구비할 수 있다는 것을 의미한다.
- [0030] 이하, 첨부된 도면을 참고하여 본 발명의 실시예를 상세히 설명하기로 한다.
- [0031] 도 1은 단일 1차원 나노구조물(30)이 노출되도록 형성된 고분자 나노 프로브(20)의 단면도를, 도 2는 본 발명의 하나 이상의 나노구조물(30)이 노출되도록 형성된 고분자 나노 프로브(20)의 단면도를, 도 3은 본 발명의 나노구조물(30)의 위치를 무게중심의 좌표로 나타낸 고분자 나노 프로브(20)의 단면도를 각각 도시한다.
- [0032] 본 발명은, 팁 본체부(10); 일단이 상기 팁 본체부(10) 상에 형성되며, 타단에는 파단면(21)을 포함하는 고분자 나노프로브(20); 및 일부는 상기 고분자 나노프로브(20)에 매립되며, 일부는 상기 고분자 나노프로브의 파단면(21) 외부에 자동정렬되는 1차원 나노구조물(30)을 포함하되, 상기 1차원 나노구조물(30)은 파단면(21) 내부에



매립되는 길이( $l_{\text{embedded}}$ )가, 파단면(21) 외부로 노출되는 길이( $l_{\text{exposed}}$ )보다 상대적으로 길게 형성되는 것을 특징으로 할 수 있다.

[0033] 본 발명의 일 실시예에 따른 상기 1차원 나노구조물(30)은, 대표적인 1차원 나노 스케일의 구조물로서 탄소나노튜브(Carbon Nanotube, 이하 'CNT')일 수 있다. 다만 그 이외에도 금이나 백금, 은 등의 금속 나노와이어나 Si, ZnO 등 반도체 나노 와이어 또는  $\text{SiO}_2$  등 절연성 나노와이어 등 고분자에 혼합될 수 있는 1차원 나노 스케일의 구조물이 다양하게 적용될 수 있다.

[0034] 이하에서는 설명의 편의를 위하여, 상기 1차원 나노구조물(30)은 CNT를 기준으로 설명한다. 다만, 후술하는 설명이 본 발명의 기술적 구성으로서 상기 1차원 나노구조물(30)을 CNT로 한정하는 것은 아니며, 전술한 바와 같이 와이어 또는 실린더 형상의 다양한 1차원 나노 스케일 구조물이 적용될 수 있음이 당연하다.

[0035] 도 1을 참조하여 설명하면, 전체 CNT(30)의 직경이 일정하다고 가정하였을 때, 전체 CNT(30)의 길이( $l_{\text{CNT}}$ )와 고분자 나노프로브의 파단면(21) 외부로 노출되는 CNT의 노출부분(31)의 길이( $l_{\text{exposed}}$ ) 및 고분자 나노프로브의 파단면(21) 내부에 매립되는 CNT의 매립부분(32)의 길이( $l_{\text{embedded}}$ ) 사이에는 다음과 같은 식 (1)의 관계가 성립한다.

[0036]  $l_{\text{CNT}} = l_{\text{exposed}} + l_{\text{embedded}}$  - 식 (1)

[0037] 이때, CNT의 노출부분(31)의 길이( $l_{\text{exposed}}$ )보다 CNT의 매립부분(32)의 길이( $l_{\text{embedded}}$ )가 상대적으로 길게 형성된 CNT(30)만이 고분자 나노프로브의 파단면(21) 상에 노출되어 형성된다. 이와 달리, CNT의 매립부분(32)의 길이( $l_{\text{embedded}}$ )보다 CNT의 노출부분(31)의 길이( $l_{\text{exposed}}$ )가 길게 형성된 CNT(30)는 파괴가 유발된 고분자 나노프로브(20)의 반대쪽 파단면 상에 노출될 것이다.

[0038] CNT(30)의 직경이 일정한 경우에 CNT(30)의 질량중심( $x_{\text{CNT}}$ )은 CNT(30)의 정가운데에 위치하게 되므로, CNT(30)의 질량중심( $x_{\text{CNT}}$ )이 고분자 나노프로브(20)의 파단면(21)으로부터  $l_{\text{CNT}}/2$ 거리 내에 위치한 CNT(30)만이 파단면(21) 상에서 외부로 노출될 것이다. 따라서, 파단면(21)에 노출되는 CNT(30)는 다음과 같은 식 (2)를 역시 만족하여야 한다. 즉, 식 (2)를 만족시키는 CNT의 개수는 파단면에서 노출되는 CNT의 개수와 동일하다고 간주할 수 있다.

[0039]  $0 < x_{\text{CNT}} < \frac{l_{\text{CNT}}}{2}$  - 식 (2)

[0040] 본 발명의 일 실시예에 따른 팀은 고분자(40) 내 CNT(30)의 농도( $c_{\text{CNT}}$ )와 고분자 나노프로브(20)의 직경( $d_{\text{probe}}$ )에 따라 파단면(21)에서 노출되는 CNT(30)의 개수( $n_{\text{CNT}}$ )를 정량적으로 제어될 수 있는 것을 특징으로 한다.

[0041] 위 제어방식에 대하여 상세하게 설명한다. 고분자 나노프로브의 파단면(21)에서 노출되는 CNT(30)의 개수( $n_{\text{CNT}}$ )는, 고분자(40) 내 CNT(30)의 농도( $c_{\text{CNT}}$ )와 제작되는 고분자 나노프로브(20)의 직경( $d_{\text{probe}}$ )에 영향을 받는다. 먼저, 고분자 나노프로브(20)의 파단면(21)으로부터  $l_{\text{CNT}}/2$ 만큼 떨어진 영역(22) 이내에 있는 곳에 질량중심( $x_{\text{CNT}}$ )이 형성되는 CNT(30)의 개수( $n_{\text{CNT}}$ )를 파악하기 위하여, 해당 영역(22)의 부피( $V_{\text{probe}}$ )를 계산한다.

[0042] 하기의 식 (3)을 통해, CNT(30)의 밀도( $\rho_{\text{CNT}}$ )와 고분자 나노프로브(20)의 밀도( $\rho_{\text{probe}}$ )를 이용하여, 고분자(40) 내 CNT(30)의 농도( $c_{\text{CNT}}$ )를 질량비( $m_{\text{CNT}}/m_{\text{probe}}$ )에서 부피비( $V_{\text{CNT}}/V_{\text{probe}}$ )로 환산할 수 있다.

[0043]  $\frac{m_{\text{CNT}}}{m_{\text{probe}}} = \frac{\rho_{\text{CNT}}}{\rho_{\text{probe}}} \cdot \frac{V_{\text{CNT}}}{V_{\text{probe}}}$  - 식 (3)

[0044] 이후 하기의 식 (4)를 통해, 영역(22) 내부에서 CNT(30)가 차지하는 부피( $V_{\text{CNT}}$ )를 계산한다. 이때, 고분자 나노프로브(20)의 직경을  $d_{\text{probe}}$ 로, CNT(30)의 직경을  $d_{\text{CNT}}$  라고 놓으면, 하기의 식 (4)를 통해 CNT(30)가 차지하는 부피( $V_{\text{CNT}}$ )를 개별 CNT(30)의 부피( $v_{\text{CNT}}$ )로 나누어서 해당 영역에 위치한 CNT(30)의 개수( $n_{\text{CNT}}$ )를 구할 수 있다.



$$V_{CNT} = \frac{m_{CNT}}{m_{probe}} \cdot \frac{\rho_{probe}}{\rho_{CNT}} \cdot V_{probe} = n_{CNT} \cdot v_{CNT} \quad - \text{식 (4)}$$

CNT(30)의 직경은  $d_{CNT}$ 로 일정하고 CNT(30)의 전체 길이는  $l_{CNT}$ 라고 하면, 상기 식 (4)는 다음과 같은 식 (5)로 변형될 수 있다.

$$n_{CNT} = \frac{V_{CNT}}{v_{CNT}} = \frac{\frac{m_{CNT}}{m_{probe}} \cdot \frac{\rho_{probe}}{\rho_{CNT}} \cdot V_{probe}}{\frac{\pi}{4} \cdot d_{CNT}^2 \cdot l_{CNT}} \quad - \text{식 (5)}$$

이때, 파단면(21)에서 노출되는 CNT의 무게중심이 위치한 영역(22)의 길이인  $l_{probe}$ 는 CNT(30)의 전체 길이( $l_{CNT}$ )의 절반에 해당하므로, 해당 식 (5)는 다음과 같이 하기의 식 (6)으로 변형될 수 있다.

$$n_{CNT} = \frac{V_{CNT}}{v_{CNT}} = \frac{\frac{m_{CNT}}{m_{probe}} \cdot \frac{\rho_{probe}}{\rho_{CNT}} \cdot V_{probe}}{\frac{\pi}{4} \cdot d_{CNT}^2 \cdot l_{CNT}}$$

$$= \frac{m_{CNT}}{m_{probe}} \cdot \frac{\rho_{probe}}{\rho_{CNT}} \cdot \frac{\frac{\pi}{4} \cdot d_{probe}^2 \cdot l_{probe}}{\frac{\pi}{4} \cdot d_{CNT}^2 \cdot l_{CNT}}$$

$$= \frac{m_{CNT}}{m_{probe}} \cdot \frac{\rho_{probe}}{\rho_{CNT}} \cdot \frac{d_{probe}^2}{2(d_{CNT})^2} \quad - \text{식 (6)}$$

즉, 고분자 나노프로브의 파단면(21)에서 노출되는 CNT(30)의 개수( $n_{CNT}$ )는 위 식 (6)과 같이 고분자(40) 내 CNT(30)의 농도( $c_{CNT}$ )와 고분자 나노프로브(20)의 직경( $d_{probe}$ )과의 관계를 나타내는 식으로 표현될 수 있다.

다만, 실제 본 발명을 적용함에 있어서, 고분자 용액은 고분자 내에 존재하는 CNT(30)를 고르게 분산시키기 위해 첨가되는 분산제, 고분자의 광경화를 촉진시키기 위하여 첨가되는 양이온 광개시제 등을 포함하게 되므로, 위 분산제 또는 양이온 광개시제 등의 첨가물을 모두 고려하여 특정되는 고분자(40) 내 CNT의 농도( $c_{CNT}$ )가 적용되어야 한다.

따라서, 상기 식 (6)에 의한 CNT(30)의 질량( $m_{CNT}$ )과 고분자 나노프로브(20)의 질량( $m_{probe}$ )의 관계를, 전술한 분산제, 양이온 광개시제 등의 적용에 의해 발생하는 상수  $k$ 를 포함하여 변환하면, 최종적으로 하기의 식 (7)을 얻을 수 있다. 즉, 하기의 식 (7)을 통해 고분자(40) 내 CNT(30)의 농도( $c_{CNT}$ )와 고분자 나노프로브(20)의 직경( $d_{probe}$ )에 따른 단면적 별로 고분자 나노프로브(20)의 파단면(21)에서 노출되는 CNT(30)의 개수( $n_{CNT}$ )를 예측할 수 있다.

$$n_{CNT} = k \cdot c_{CNT} \cdot \frac{\rho_{probe}}{\rho_{CNT}} \cdot \frac{d_{probe}^2}{2(d_{CNT})^2} \quad - \text{식 (7)}$$

$$\left( \text{단 } k \cdot c_{CNT} = \frac{m_{CNT}}{m_{probe}} \text{ 임} \right)$$

이하 본 발명의 실험예를 통하여, 위 식 (7)을 상세히 설명한다.

고분자(40) 내 CNT(30)의 질량비, 즉 농도 ( $c_{CNT}$ )는 고분자 용액 내에 포함된 용매를 제거한 고분자의 질량 대비 질량 비율을 의미한다.

본 발명의 실험예에 있어서, 사용한 고분자(SU-8) 용액 내의 고분자(SU-8) 질량비는 76.75%이며, CNT(30)가 고분자(SU-8) 고르게 분산되게 하기 위한 분산제를 순수CNT(30)의 질량 대비 20% 비율로 첨가하였다. 마지막으로 고분자(SU-8)의 광경화를 촉진시키기 위해 양이온 광개시제(cationic photoinitiator)를 순수 고분자(SU-8) 질량 대비 10%(w/w) 비율로 첨가하였다.

이에 따른 구체적인 수치를 적용하여  $c_{CNT}$ 가 1%인 경우, 고분자(SU-8) 용액 5g 내에 포함된 순수 고분자(SU-8) 질량은 3.8375g이며, CNT(30)는 고분자(SU-8)의 순수 질량 대비 1%(w/w) 비율인 0.0384g을 첨가하였다. 분산제

는 CNT(30)의 질량 대비 20%(w/w)에 해당하는 0.0115g을 첨가하였으며, 마지막으로 양이온 광개시제는 고분자(SU-8)의 순수 질량 대비 10%(w/w)에 해당하는 0.3838g을 첨가하였다.

[0061] CNT(30)의 질량과 고분자(SU-8) 혼합물에서 분산제와 양이온 광개시제의 질량을 고려하면, 고분자(SU-8) 전체 혼합물의 질량( $m_{probe}$ ) 대비 CNT(30)의 질량( $m_{CNT}$ )의 비율은 다음의 식 (8)과 같이 계산된다.

[0062] 
$$\frac{m_{CNT}}{m_{probe}} = \frac{9}{10} \cdot c_{CNT} \quad - \text{식 (8)}$$

[0063] 다시 말해, 본 발명의 실험예에서 분산제와 양이온 광개시제의 첨가로 인하여 (9/10)란 상수 k가 발생하게 된다. 위의 분산제, 양이온 광개시제 혼합 비율에 따른 상수값과 본 발명의 실험예에 적용된 CNT의 직경 50 nm 값을, 위 식 (7)에 대입하면, 해당 혼합예시에 대한 간편화된 식 (9)를 도출할 수 있다.

[0064] 이때, 본 발명의 실험예는 고분자 나노프로브의 밀도  $\rho_{probe}$ 는  $0.95 \text{ g/cm}^3$  (CNT와 고분자SU-8, 분산제, 양이온 광개시제 혼합물의 밀도의 측정값)이,  $\rho_{CNT}$ 는  $1.2 \text{ g/cm}^3$  (본 발명의 실험예에 사용한 CNT의 density, bender 계공 값)이 적용된다.

[0065] 
$$n_{CNT} = \frac{9}{10} \cdot c_{CNT} \cdot \frac{0.95}{1.2} \cdot \frac{d_{probe}^2}{2(50nm)^2} \quad - \text{식 (9)}$$

[0066] 다만, 위 식 (9)는 본 발명의 일실시예에 따라 도출된 혼합 예시에 대한 간편화된 식으로 이해할 수 있으며, 본 발명은 위 식 (7)에 따라서 파단면에 노출되는 CNT(30)의 개수( $n_{CNT}$ )를 조절할 수 있다.

[0067] 다시 말해, 본 발명의 일실시예에 따른 상기 고분자 나노프로브(20)는, 파단면(21)에 노출되는 상기 CNT(30)의 개수( $n_{CNT}$ )를 제어하도록 직경( $d_{probe}$ ) 및 고분자(40) 내 CNT(30)의 농도( $c_{CNT}$ ) 중 어느 하나 이상이 조절되며, 이때 상기 CNT(30)의 개수( $n_{CNT}$ )는 위 식 (7)에 따라 제어되는 것을 특징으로 할 수 있다.

[0068] 이하, 본 발명의 또 다른 주요한 기술적 특징인 파단모드 제어를 통하여 파단면에 정렬된 1차원 나노구조물이 노출되는 팁의 제조방법에 관하여 설명한다.

[0069] 이하에서는 위와 같은 취지로, 본 발명의 자동정렬된 1차원 나노구조물이 노출되는 팁의 제조방법에 있어서, 상기 1차원 나노구조물(30)은 CNT를 기준으로 설명한다. 다만, 후술하는 설명이 상기 1차원 나노구조물(30)을 CNT로 한정하는 것은 아니며, 와이어 또는 실린더 형상으로서 다양한 1차원적인 나노 스케일 구조물이 적용될 수 있음은 동일하다.

[0070] 도 4 내지 6은 본 발명에 따른 1차원 나노구조물(30)이 노출되는 팁의 제조방법의 방법흐름도, 모식도 및 광학 이미지를, 도 7은 본 발명에 실험예에 따라 따라 제조된 단일 CNT가 노출된 고분자 나노프로브(20)의 전자현미경 이미지를 각각 도시한다.

[0071] 본 발명에 따른 1차원 나노구조물이 노출되는 팁의 제조방법은 팁 본체부(10)를 가열시키는 가열단계(S100); 상기 가열된 팁 본체부(10)를 고분자(40)에 접촉시켜, 상기 고분자(40)를 국부적으로 가열시키는 접촉단계(S200); 상기 팁 본체부(10)를 상기 국부적으로 가열된 고분자(40)와 멀어지는 방향으로 끌어당김으로써, 고분자 나노프로브(20)를 형성하는 인장단계(S300); 및 고분자 나노프로브(20)의 파괴를 유발하여, 고분자 나노프로브(20)의 파단면(21)을 형성하는 파단단계(S400)를 포함한다.

[0072] 이러한 열 인장공정을 CNT(30)와 고분자 나노프로브(20) 복합체의 가공에 적용시키면, 팁 본체부(10)가 고분자 나노프로브(20)를 인장시키는 과정에서 발생하는 내부 고분자 나노프로브(20) 유동에 의해 복합체 내부에서 CNT(30)를 고분자 나노프로브(20)의 인장방향으로 자동으로 정렬시킬 수 있다.

[0073] 이때, 본 발명의 파단단계(S400)는, 파단 공정으로서의 주요 인자인 파단 온도와 파단 속도를 조절함으로써 파단 모드를 결정할 수 있다.

[0074] 도 8은 본 발명에 따른 열 인장공정을 통하여 제조된 나노 프로브(20)에서 파단 모드에 따른 파단면(21)을 나타내는 실험결과를 도시한다.

[0075] 도 8의 (a)를 참조하면, 유리전이온도(glass transient temperature,  $T_g$ ) 이상의 온도에서 고분자에,  $50 \mu\text{m/s}$  이하의 낮은 속도의 지속적인 인장을 가하면 고분자에서 지속적인 소성변화가 일어나게 되어 연성파괴를 유발하게

된다. 이 경우 연성파괴의 특성상 파괴 끝단이 수렴하는 현상이 발생하게 되며, 그 결과 파단면(21)에 노출된 CNT(30)의 각도가 변형된다.

- [0076] 이와 달리, 고분자를 유리전이온도 이하로 냉각시키면, 유동성이 사라지기 때문에 정렬된 CNT(30)를 그대로 고분자 내부에 고정시킬 수 있다. 이후, 200  $\mu\text{m/s}$  이상의 빠른 속도로 고분자의 파단을 유발하면 유리전이 이하로 냉각된 고분자에서 변형 없이 취성파괴를 유발할 수 있다.
- [0077] 전술한 유리전이온도는 분자량이 충분히 큰 고분자 물질에서 분자가 활성화되며 움직이기 시작하는 기준으로서 고분자 물질 특유의 온도를 의미한다. 즉, 고분자가 움직이기 시작하는 온도이기 때문에, 유리전이온도 이하로 냉각시켰을 때, 상기 CNT(30)를 고분자(40) 내부에 고정시킬 수 있다.
- [0078] 도 8의 (b)에 도시된 실험결과를 통하여 유리전이온도 이하로 냉각되어 취성 파괴로 인하여 노출된 CNT(30)는, 고분자 나노프로브(20)의 파단면(21)에서 인장방향을 유지한 채 그대로 정렬된 채 노출됨을 확인할 수 있다.
- [0079] 따라서 본 발명의 일실시예에 따른 상기 파단단계(S400)는, 상기 고분자를 유리전이온도 이하에서 냉각시키는 단계(S410); 상기 고분자 내부의 1차원 나노구조물(30)이 고정되는 단계(S420); 및 상기 고분자 나노프로브(20)의 파괴를 유발하여, 상기 고분자 나노프로브(20)에 취성 파단면(21)을 형성하는 단계(S430)를 더 포함하는 것을 특징으로 할 수 있다.
- [0080] 또한, 본 발명의 상기 파단단계(S400)는, 파단속도를 상대적으로 빠른 속도로 조절하여, 특히 200 $\mu\text{m/s}$  이상의 속도로 인장을 가하여 취성 파괴를 유발하는 것을 특징으로 할 수 있다.
- [0081] 이때, 취성 파괴에 의하여 고분자 나노프로브(20)의 파단면(21)에서 노출되는 CNT(30)의 개수( $n_{\text{CNT}}$ )는 고분자(40) 내 CNT(30)의 농도( $c_{\text{CNT}}$ )와 제작되는 고분자 나노프로브(20)의 직경( $d_{\text{probe}}$ )에 영향을 받는다. 즉, 파단면(21)에서 노출되는 고분자(40) 내 CNT(30)의 농도( $c_{\text{CNT}}$ )와 고분자 나노프로브(20)의 직경( $d_{\text{probe}}$ )은 인장 조건의 제어를 통해 조절이 가능하다.
- [0082] 위 고분자 나노프로브(20)의 파단면(21)에서 노출되는 CNT(30)의 개수( $n_{\text{CNT}}$ )의 제어방법에 대한 구체적인 관계식은 전술한 식 (7)과 같다.
- [0083] 즉, 본 발명의 일실시예에 따른 인장단계(S300)는, 위 식 (7)에 따라 상기 고분자(40) 내 CNT(30)의 농도( $c_{\text{CNT}}$ ) 또는 상기 고분자 나노프로브(20)의 직경( $d_{\text{probe}}$ )을 조절하며, 파단면(21)에 노출되는 상기 CNT(30)의 개수( $n_{\text{CNT}}$ )를 제어하는 것을 특징으로 할 수도 있다.
- [0084] 이하, 도 9 내지 도 11을 참조하여 본 발명에 대한 다양한 실험예를 상세히 설명하기로 한다. 다만, 이하의 실험 결과는 상기 실시예 중 대표적인 실험 결과만을 기재한 것이며, 실시예 등에 의해 본 발명의 범위와 내용이 축소되거나 제한되어 해석될 수 없다.
- [0085] 도 9는 고분자(40) 내 CNT(30) 농도( $c_{\text{CNT}}$ )가 1%인 경우에, 고분자 나노프로브(20)의 직경( $d_{\text{probe}}$ )에 따른 현미경 이미지를 도시하며, 도 10은 서로 다른 농도에서 제작된 단일 CNT 노출 팁의 현미경 이미지를, 도 11은 고분자(40) 내 CNT(30)의 농도( $c_{\text{CNT}}$ )와 고분자 나노프로브(20)의 직경에 따라 예측된 CNT(30)의 노출개수(점선) 및 실제 노출개수(점)을 나타내는 실험그래프를 도시한다.
- [0086] 고분자(40) 내 CNT(30) 농도( $c_{\text{CNT}}$ )가 1%, 팁의 직경( $d_{\text{probe}}$ )이 2.805  $\mu\text{m}$  일 때, 전술한 식 (7) 및 식 (9)에 따른 이론적인 CNT(30) 노출 개수( $n_{\text{CNT}}$ )는 11.2개이다. 도 9의 (a)의 실제 실험결과에 따른 현미경 이미지를 참조하면, 실제 파단면(21)에서 노출된 CNT(30) 개수는 15 개인 것을 알 수 있다.
- [0087] 고분자 내 CNT(30) 농도( $c_{\text{CNT}}$ )가 1%, 팁의 직경( $d_{\text{probe}}$ )이 2.138  $\mu\text{m}$  일 때, 전술한 식 (7) 및 식 (9)에 따른 이론적인 CNT 노출 개수( $n_{\text{CNT}}$ )는 6.5 개이다. 도 9의 (b)의 실제 실험결과에 따른 현미경 이미지를 참조하면, 실제 파단면(21)에서 노출된 CNT(30) 개수인 6 개인 것을 확인할 수 있다.
- [0088] 위와 같은 방식의 실험을 반복한 결과를 도 11을 참조하여 설명한다.
- [0089] 도 11의 실험데이터를 참조하면, CNT(30)의 농도와 고분자 나노프로브(20)의 직경에 따라 예측된 CNT(30)의 노출개수(점선)와 실제 노출개수(점)가 실질적으로 유사하게 나타남을 확인할 수 있다. 위 결과를 기초로 할 때, 전술한 식 (7) 또는 (9)를 통해 CNT(30)의 농도와 단면적 별로 파단면(21)에서 노출되는 CNT(30)의 개수를 예측

하여 설계할 수 있음을 알 수 있다.

- [0090] 또한, 전술한 식 (7) 또는 (9)를 바탕으로 CNT(30)가 단일하게 노출되도록 하는 조건을 산출할 수 있다. 즉, 예상되는 CNT(30)의 노출 개수가 0.5개 이상, 1.5개 이하일 때, 고분자 나노프로브의 파단면(21)에서는 단일한 CNT(30)가 노출될 수 있다.
- [0091] 이를 실험을 통해 확인한 결과는 도 10을 통해 나타난다.
- [0092] 고분자(40) 내 CNT(30) 농도( $c_{CNT}$ )가 1%, 팁의 직경( $d_{probe}$ )이  $0.8 \mu m$  일 때, 전술한 식 (7) 및 식 (9)에 따른 이론적인 CNT(30) 노출 개수( $n_{CNT}$ )는 0.91개이다. 도 10의 (a)의 실제 실험결과에 따른 현미경 이미지를 참조하면, 실제 파단면(21)에서 노출된 CNT(30) 개수는 1 개인 것을 알 수 있다.
- [0093] 고분자(40) 내 CNT(30) 농도( $c_{CNT}$ )가 2%, 팁의 직경( $d_{probe}$ )이  $0.501 \mu m$  일 때, 전술한 식 (7) 및 식 (9)에 따른 이론적인 CNT(30) 노출 개수( $n_{CNT}$ )는 0.714개이다. 도 10의 (b)의 실제 실험결과에 따른 현미경 이미지를 참조하면, 실제 파단면(21)에서 노출된 CNT(30) 개수는 1 개인 것을 알 수 있다.
- [0094] 고분자(40) 내 CNT(30) 농도( $c_{CNT}$ )가 3%, 팁의 직경( $d_{probe}$ )이  $0.565 \mu m$  일 때, 전술한 식 (7) 및 식 (9)에 따른 이론적인 CNT(30) 노출 개수( $n_{CNT}$ )는 1.36개이다. 도 10의 (c)의 실제 실험결과에 따른 현미경 이미지를 참조하면, 실제 파단면(21)에서 노출된 CNT(30) 개수는 1 개인 것을 알 수 있다.
- [0095] 위 실험결과를 바탕으로 할 때, 본 발명의 일실시예에 따른 파단모드 제어를 통하여 파단면에 자동정렬된 1차원 나노구조물이 노출되는 팁 및 이를 제조하는 방법은 상기 고분자 나노프로브(20)의 파단면(21)의 외부에 단일한 상기 CNT(30)가 노출되도록 형성되는 것을 특징으로 할 수 있다.
- [0096] 보다 상세하게는, 고분자(40) 내 CNT(30)의 농도( $c_{CNT}$ )가 1%이고 CNT의 직경( $d_{CNT}$ )이  $50 \text{ nm}$ 인 경우에는, 단일 CNT(30)가 노출될 것으로 예상되는 고분자 나노프로브(20)의 직경( $d_{probe}$ )이  $0.592 \mu m$  내지  $1.026 \mu m$  인 것을 특징으로 할 수 있다.
- [0097] 고분자(40) 내 CNT(30)의 농도( $c_{CNT}$ )가 2%인 경우에는, 고분자 나노프로브(20)의 직경( $d_{probe}$ )이  $0.419 \mu m$  내지  $0.725 \mu m$  인 것을 특징으로 할 수 있다.
- [0098] 고분자(40) 내 CNT(30)의 농도( $c_{CNT}$ )가 3%인 경우에는, 고분자 나노프로브(20)의 직경( $d_{probe}$ )이  $0.484 \mu m$  내지  $0.592 \mu m$  인 것을 특징으로 할 수 있다.
- [0099] 이하, 본 발명의 인장온도 및 인장거리 조절에 따른 기술적 특징을 설명한다.
- [0100] 도 12의 (a)와 (b)는 각각 상온과  $70^\circ C$  온도에서 형성된 고분자 나노프로브의 실험이미지이며, (c)는 온도에 따라 파단이 일어나는 상대적인 위치를 나타내고, (d)는 온도에 따라 동일 인장거리에서 생성된 고분자 나노프로브의 길이를 각각 도시한다.
- [0101] 도 12의 (a) 내지 (c)를 참조할 때, 상기 인장단계(S300)의 인장 온도가 증가함에 따라, 고분자 나노프로브의 길이가 감소함을 알 수 있다. 또한 도 12의 (d)를 참조할 때, 인장온도가 증가함에 따라 동일 인장 거리에서 생성되는 팁의 길이가 마찬가지로 감소함을 알 수 있다.
- [0102] 위 실험결과를 바탕으로, 상기 인장단계(S300)는 인장 온도와 인장 거리( $l_{drawing}$ )를 조절함으로써, CNT가 노출된 고분자 나노프로브의 전체 길이( $l_{nanoprobe}$ )를 제어할 수 있다. 즉, 인장단계(S300)에서 인장 거리( $l_{drawing}$ )와 인장 온도의 제어를 통해 제작되는 고분자 나노프로브(20)의 길이를 벌크 스케일에서 손쉽고 빠르게 제어할 수 있다.
- [0103] 전술한 기술적 특징에 의하여, 본 발명은 정교한 공정 장비 없이 벌크 스케일에서 간단한 파단 공정 제어를 통해서 정렬된 CNT(30)의 노출 개수, 팁의 길이를 정량적으로 조절할 수 있다. 또한 CNT(30)의 노출 각도를 조절하거나 CNT(30)와 노출면 사이의 부착력을 높이기 위한 추가적인 후처리가 없이 단일 제작 공정만으로 QTF, AFM 등 임의의 시제품 표면의 원하는 위치에 정렬되는 단일 CNT(30)가 노출된 팁을 제작 하는 것이 가능하게 된다.
- [0104] 더불어 위와 같은 본 발명의 기술적 특징은, CNT(30)가 노출되는 팁뿐만 아니라 금이나 백금, 은 등 금속 나노 와이어나 Si, ZnO 등 반도체 나노 와이어 또는  $SiO_2$  등 절연성 나노와이어 등 고분자에 혼합될 수 있는 다양한 1차원 나노 스케일의 구조물이 노출되는 팁의 경우에도 마찬가지로 구현될 수 있다.

[0105] 전술한 본 발명의 설명은 예시를 위한 것이며, 본 발명이 속하는 기술분야의 통상의 지식을 가진 자는 본 발명의 기술적 사상이나 필수적인 특징을 변경하지 않고서 다른 구체적인 형태로 쉽게 변형이 가능하다는 것을 이해할 수 있을 것이다. 그러므로 이상에서 기술한 실시예들은 모든 면에서 예시적인 것이며 한정적이 아닌 것으로 이해해야만 한다. 예를 들어, 단일형으로 설명되어 있는 각 구성 요소는 분산되어 실시될 수도 있으며, 마찬가지로 분산된 것으로 설명되어 있는 구성 요소들도 결합된 형태로 실시될 수 있다.

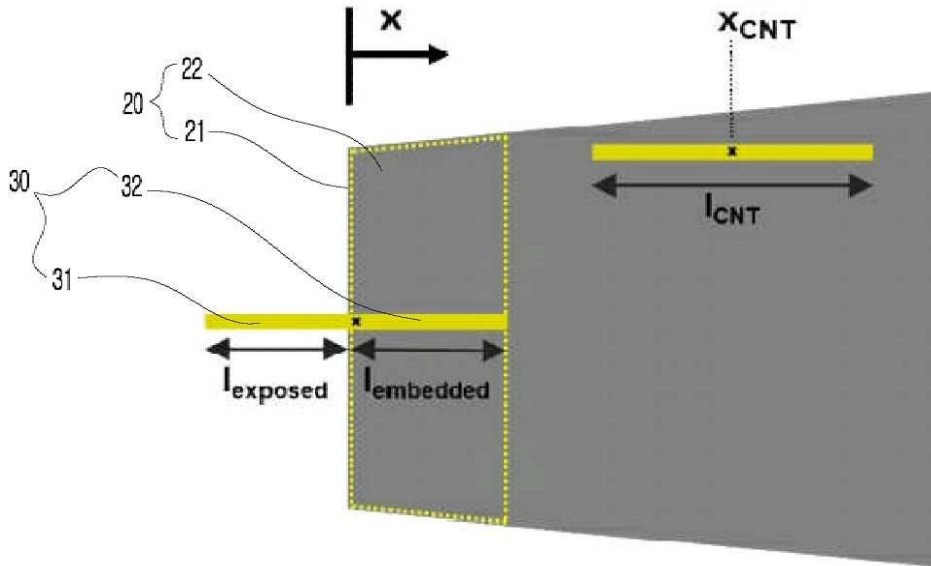
[0106] 본 발명의 범위는 후술하는 청구범위에 의하여 나타내어지며, 청구범위의 의미 및 범위 그리고 그 균등 개념으로부터 도출되는 모든 변경 또는 변형된 형태가 본 발명의 범위에 포함되는 것으로 해석되어야 한다.

### 부호의 설명

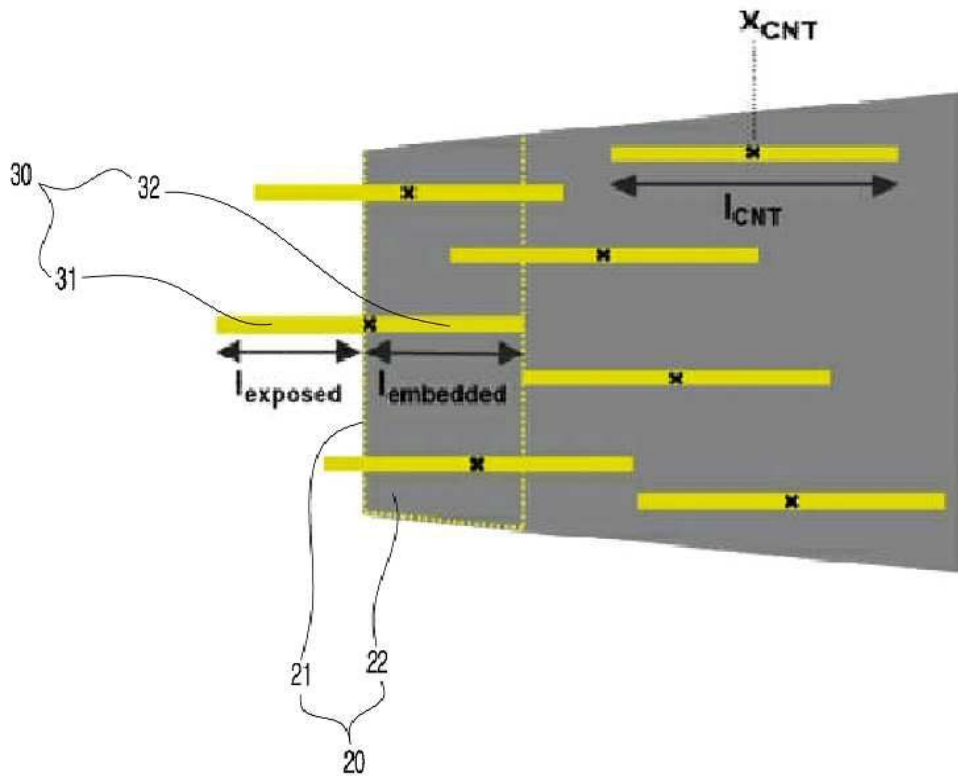
- [0107]
- 10: 팁 본체부
  - 20: 고분자 나노프로브
  - 21: 고분자 나노프로브 파단면
  - 22: 영역
  - 30: 1차원 나노구조물, CNT
  - 31: 노출부분
  - 32: 매립부분
  - 40: 고분자

### 도면

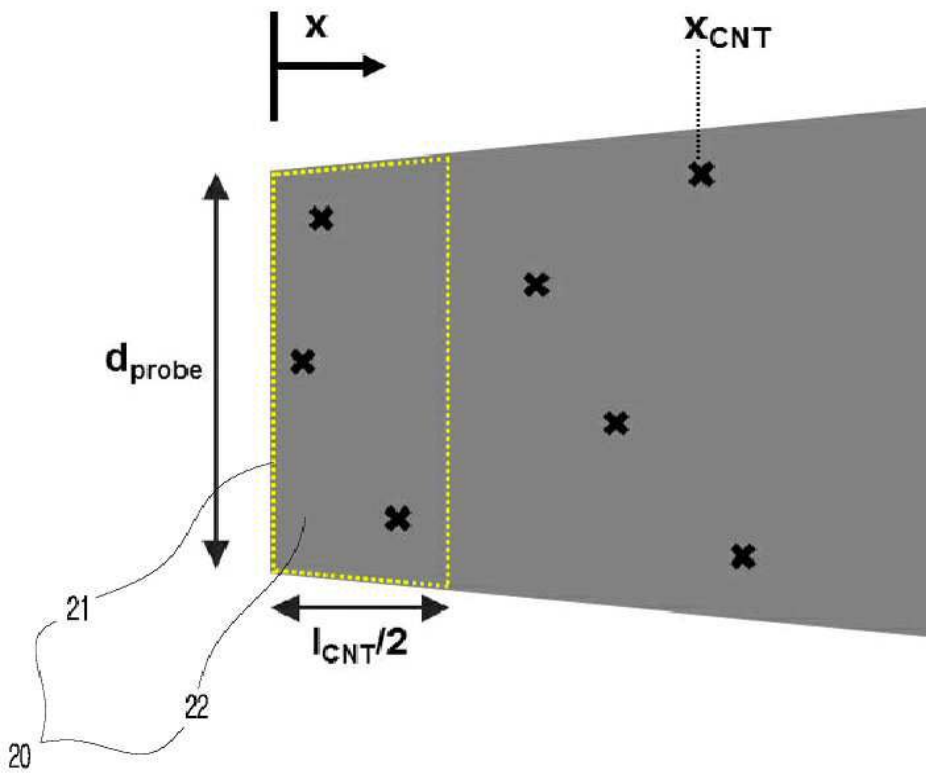
#### 도면1



도면2

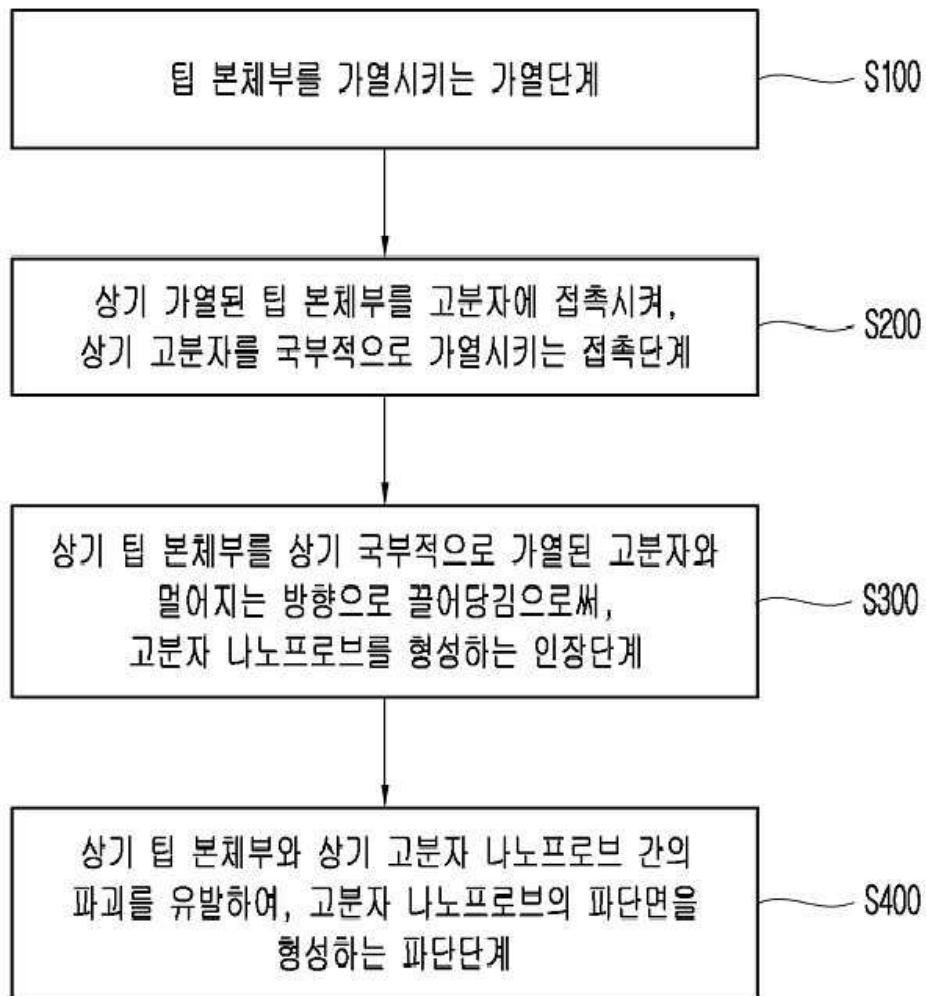


도면3



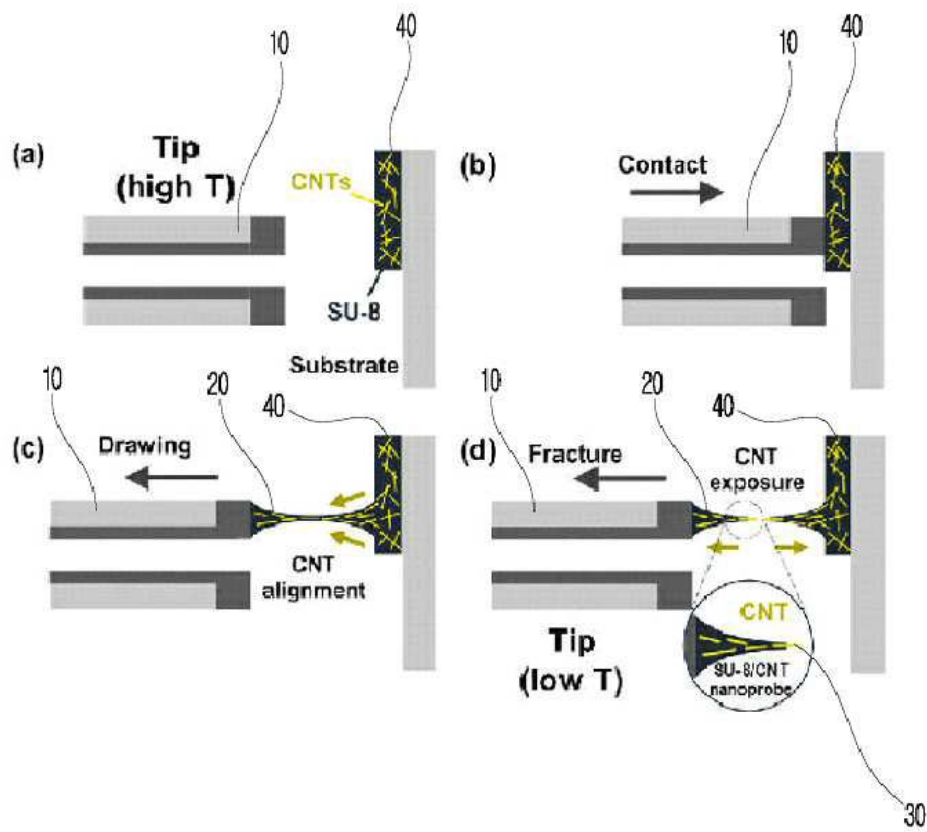


도면4

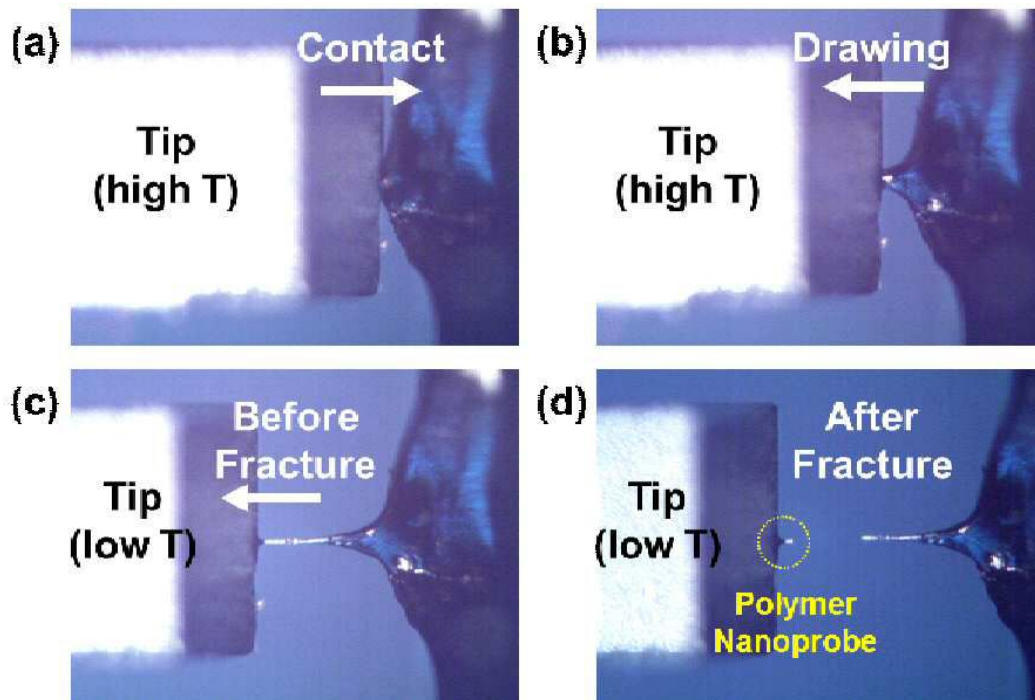




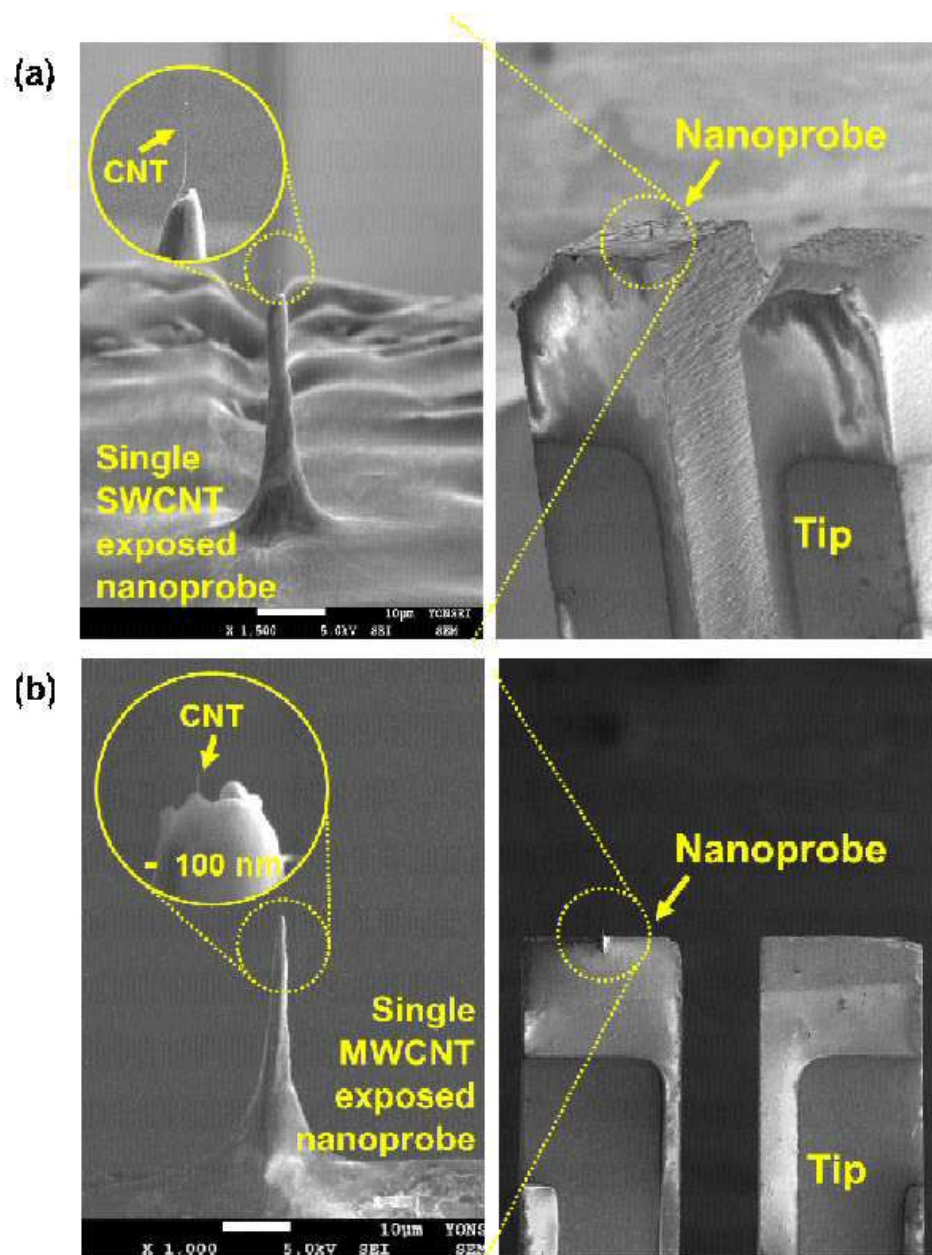
도면5



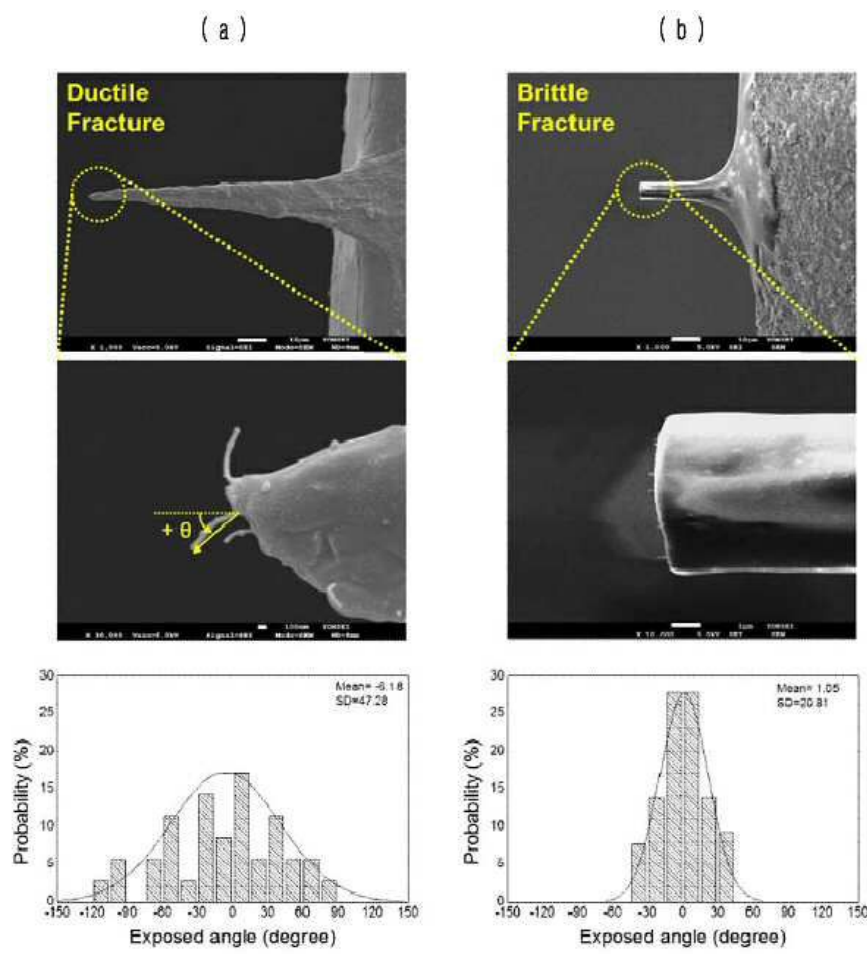
도면6



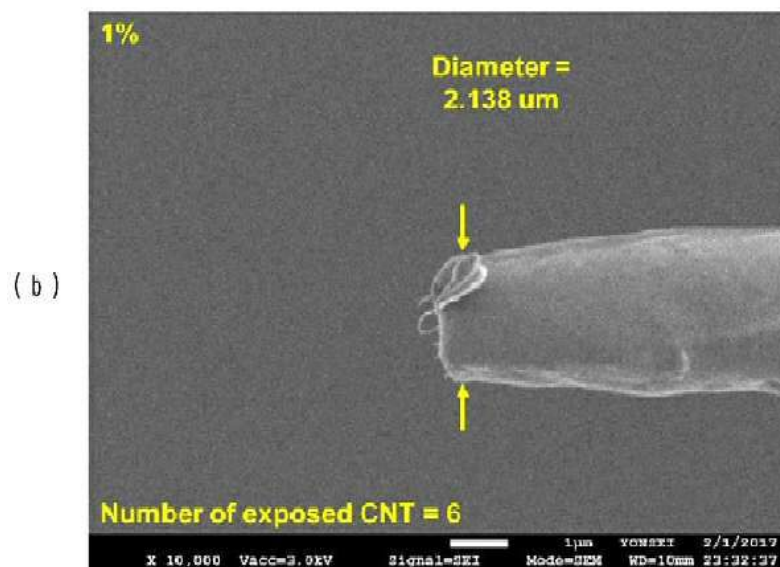
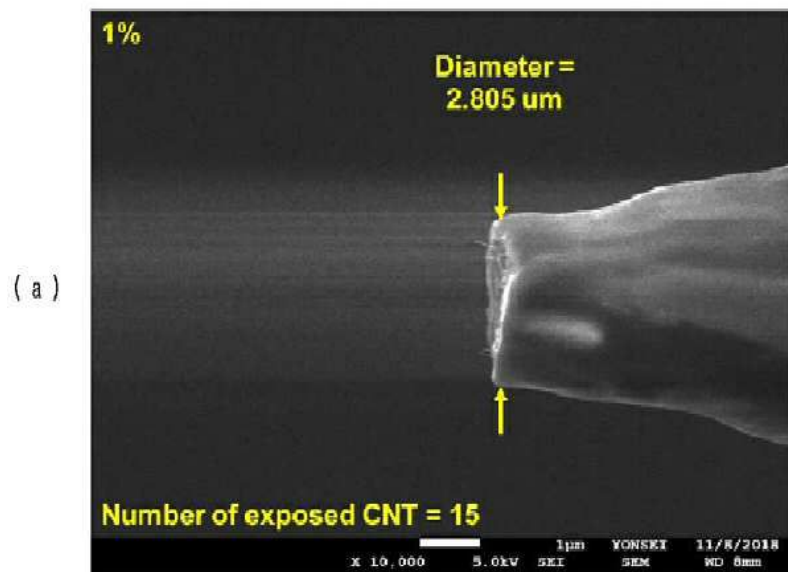
도면7



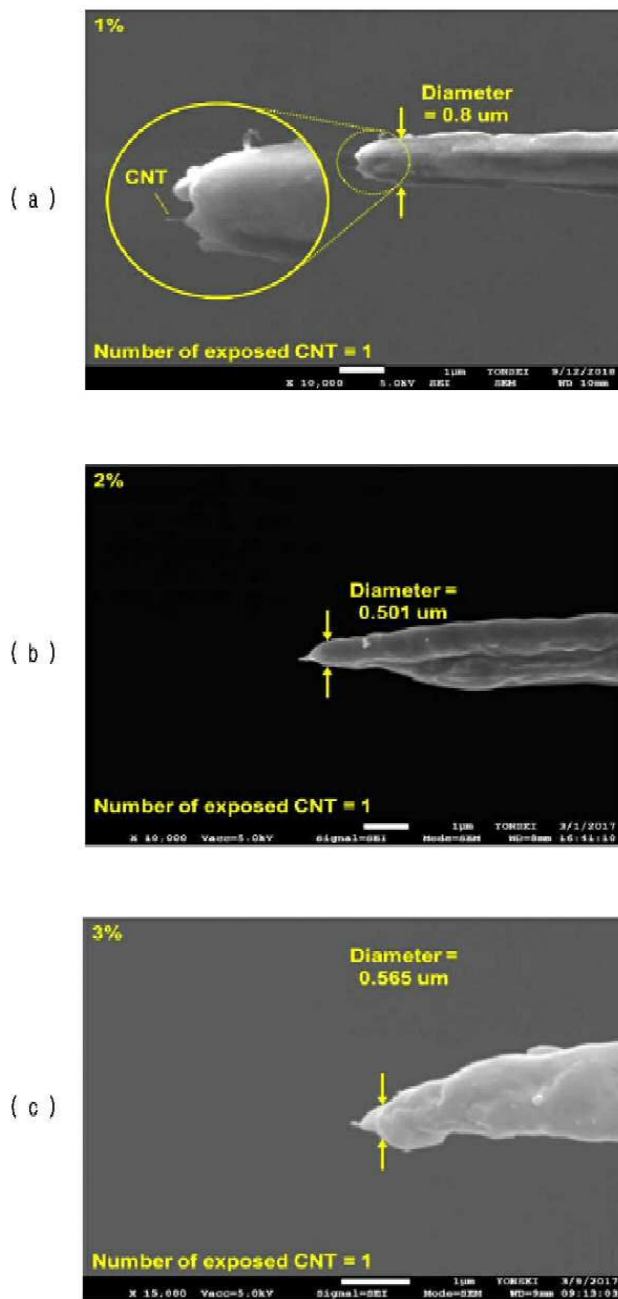
도면8



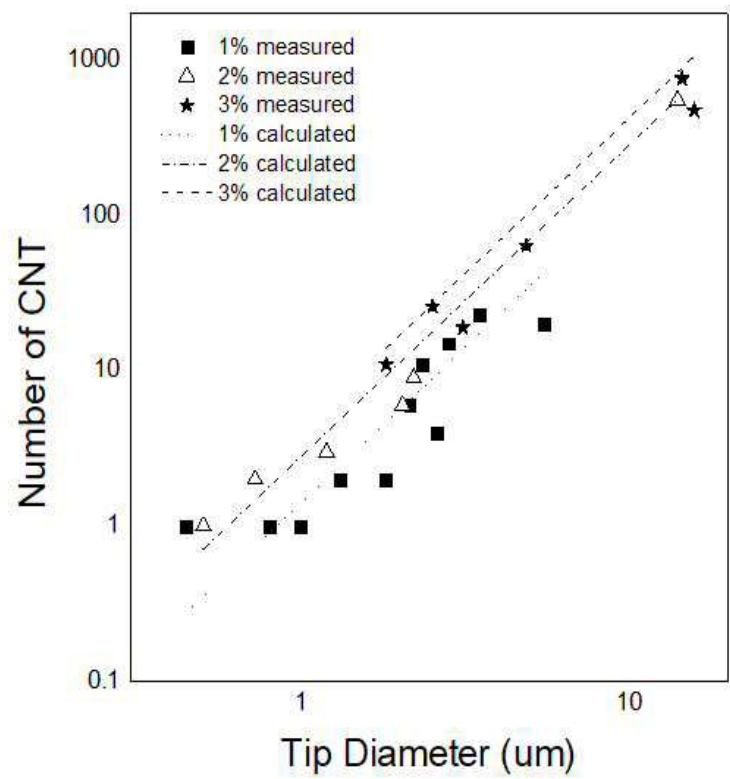
도면9



도면10



도면11



도면12

