



등록특허 10-2147276



(19) 대한민국특허청(KR)  
(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2020년08월24일  
(11) 등록번호 10-2147276  
(24) 등록일자 2020년08월18일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)  
B22F 9/02 (2006.01) B22F 1/00 (2006.01)  
B81C 1/00 (2006.01)  
(52) CPC특허분류  
B22F 9/02 (2013.01)  
B22F 1/0044 (2013.01)  
(21) 출원번호 10-2019-0006436  
(22) 출원일자 2019년01월17일  
심사청구일자 2019년01월17일  
(65) 공개번호 10-2020-0089555  
(43) 공개일자 2020년07월27일  
(56) 선행기술조사문헌  
KR1020070033794 A  
(뒷면에 계속)

(73) 특허권자  
연세대학교 산학협력단  
서울특별시 서대문구 연세로 50 (신촌동, 연세대학교)  
(72) 발명자  
김종백  
경기도 고양시 일산동구 노루목로 79, 403동 201호(장항동, 호수마을4단지아파트)  
오용근  
경기도 안양시 동안구 경수대로797번길 5, 103동 2602호(호계동, 한마음아파트)  
권대성  
서울특별시 양천구 월정로 8, 101동 203호(신월동, 목동M타운)  
(74) 대리인  
윤병국, 이영규

전체 청구항 수 : 총 10 항

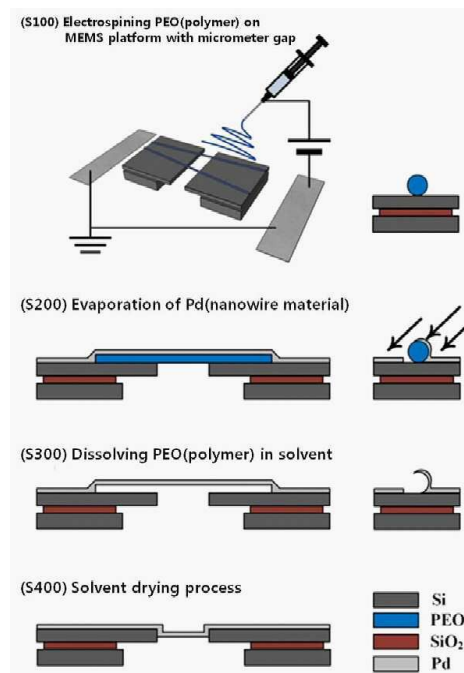
심사관 : 정현진

(54) 발명의 명칭 MEMS 플랫폼과 전기방사법을 이용한 현수형 나노와이어의 제조방법

(57) 요약

본 발명은 MEMS 플랫폼과 전기방사를 이용한 현수형 나노와이어의 제조방법에 관한 것으로, 마이크로 칩을 가지는 MEMS 플랫폼에 폴리머 용액을 전기방사하여 나노급 폴리머선을 형성하는 단계; 나노급 폴리머선에 나노와이어 물질을 증착시키는 단계; 용매로 나노급 폴리머선을 제거하여 나노선을 형성하는 단계; 및 용매를 건조시켜 복수 (뒷면에 계속)

대표도 - 도1



의 나노선을 뭉치게 하여 나노와이어를 형성하는 단계:를 포함한다. 본 발명에 따른 현수형 나노와이어의 제조방법은 용매를 건조시키는 단계에서 발생하는 용매의 표면장력(surface tension)을 이용함으로써, 나노와이어가 형성되는 위치를 조절할 수 있다. 또한, 본 발명에 따른 현수형 나노와이어의 제조방법은 전체공정이 저온에서 진행되기 때문에 고온이 가해지면 안 되는 기관 등에도 나노와이어를 형성할 수 있을 뿐만 아니라, 나노와이어 물질에도 고온이 가해지지 않기 때문에 보다 다양한 물질로 나노와이어를 형성할 수 있고, 전체공정이 일괄공정(batch process)으로 이루어져 제조 비용을 절감할 수 있다.

(52) CPC특허분류

**B81C 1/00349** (2013.01)

(56) 선행기술조사문헌

KR1020080074622 A  
KR1020110074289 A  
KR1020110080910 A  
KR1020180086464 A  
KR1020110101287A  
KR1020110019550 A

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호

부처명

연구관리전문기관

연구사업명

연구과제명

주관기관

연구기간 ~

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호

부처명

연구관리전문기관

연구사업명

연구과제명

주관기관

연구기간 ~

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호 2018023070

부처명 과학기술정보통신부

연구관리전문기관 한국연구재단

연구사업명 중견연구자지원사업

연구과제명 접촉 기반 MEMS의 장수명 고신뢰성 확보를 위한 나노소재 응용 연구

기 여 율 50/100

주관기관 연세대학교 산학협력단

연구기간 2018.03.01 ~ 2019.02.28

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호 2018025986

부처명 과학기술정보통신부

연구관리전문기관 한국연구재단

연구사업명 기초연구실육성사업

연구과제명 다중모드 햅틱 인터페이스 연구실

기 여 율 50/100

주관기관 연세대학교 산학협력단

연구기간 2018.06.01 ~ 2019.02.28

공지예외적용 : 있음

## 명세서

### 청구범위

#### 청구항 1

마이크로 갭을 가지는 MEMS 플랫폼에 폴리머 용액을 전기방사하여 나노급 폴리머선을 형성하는 단계;

나노급 폴리머선에 나노와이어 물질을 증착시키는 단계;

용매로 나노급 폴리머선을 제거하여 나노선을 형성하는 단계; 및

용매를 건조시켜 복수의 나노선을 뭉치게 하여 나노와이어를 형성하는 단계;를 포함하는 현수형 나노와이어의 제조방법.

#### 청구항 2

제1항에 있어서,

상기 MEMS 플랫폼은, 실리콘 전극이 마이크로 갭을 가지고 서로 이격되어 형성된, 현수형 나노와이어의 제조방법.

#### 청구항 3

제1항에 있어서,

상기 나노급 폴리머선의 직경은, 100 ~ 1000nm인 것을 특징으로 하는, 현수형 나노와이어의 제조방법.

#### 청구항 4

제1항에 있어서,

상기 폴리머 용액은, 폴리에틸렌옥사이드, 폴리우레탄, 폴리에틸렌, 폴리프로필렌, 폴리스티렌, 폴리비닐클로라이드 및 폴리부타디옴으로 이루어진 군 중에서 적어도 하나 이상을 포함하는, 현수형 나노와이어의 제조방법.

#### 청구항 5

제1항에 있어서,

상기 나노와이어 물질은, 은(Ag), 알루미늄(Al), 금(Au), 팔라듐(Pd), 구리(Cu), 철(Fe), 니켈(Ni), 크롬(Cr), 마그네슘(Mg), 망간(Mn), 몰리브덴(Mo), 인(P), 납(Pb), 백금(Pt), 루테튬(Ru), 티탄(Ti), 텅스텐(W) 및 아연(Zn)으로 이루어진 군 중에서 적어도 하나 이상을 포함하는, 현수형 나노와이어의 제조방법.

#### 청구항 6

제1항에 있어서,

상기 용매는, 클로로포름 용액, 아세톤(acetone) 용액, 다이메틸폼아마이드(dimethylformamide) 또는 정제수인 것을 특징으로 하는, 현수형 나노와이어의 제조방법.

## 청구항 7

제1항에 있어서,

상기 나노와이어 물질을 증착시키는 단계는, 전자빔 기상 증착법(e-beam evaporation), 열 증착법(thermal evaporation) 또는 스퍼터링(sputtering)으로 수행되는 것을 특징으로 하는, 현수형 나노와이어의 제조방법.

## 청구항 8

제1항에 있어서,

상기 나노와이어 물질을 증착시키는 단계는, 나노와이어 물질을 10 ~ 30nm의 두께로 증착시키는 것을 특징으로 하는, 현수형 나노와이어의 제조방법.

## 청구항 9

제1항에 있어서,

상기 용매를 건조시켜 복수의 나노선을 뭉치게 하여 나노와이어를 형성하는 단계는, 상온에서 수행되는 것을 특징으로 하는, 현수형 나노와이어의 제조방법.

## 청구항 10

제1항 내지 제9항 중 어느 한 항에 기재된 제조방법으로 제조된 현수형 나노와이어.

## 발명의 설명

### 기술 분야

[0001] 본 발명은 MEMS 플랫폼과 전기방사법을 이용한 나노와이어의 제조방법에 관한 것으로, 보다 상세하게는 MEMS 플랫폼에 폴리머 용액을 전기방사하여 나노급 폴리머선을 형성하고, 상기 폴리머선에 나노와이어 물질을 증착시킨 후 용매를 통해 폴리머선을 제거하고 용매를 건조시키는 과정에서 발생하는 표면장력을 이용해 나노와이어가 형성되는 위치를 조절할 수 있는 나노와이어의 제조방법에 관한 것이다.

### 배경 기술

[0003] 나노와이어는 부피 대비 높은 표면적과 독특한 물리적 특성 때문에 가스센서, 바이오센서, 촉매 등으로 널리 활용되고 있다. 특히, 현수형 나노와이어를 이용한 가스센서는 표면적 대 부피비율(surface to volume ratio)이 높기 때문에 일반적인 나노와이어를 이용한 가스센서보다 더 좋은 민감도를 갖게 된다.

[0004] 또한, 나노와이어의 형상 및 개수는 가스센서 등과 같은 소자의 성능에 직접적인 영향을 미치기 때문에 나노와이어가 형성되는 위치나 형성되는 나노와이어의 개수를 제어할 필요가 있다.

[0005] 종래의 나노와이어 제작방법으로는, 상향식 기법으로 vapor-liquid-solid(VLS) growth, chemical Vapor deposition(CVD), 솔-겔 반응(sol-gel processing), 레이저 열분해(laser pyrolysis), 원자 또는 분자 축합(atomic or molecular condensation), 층-층 자기 조립(layer-by-layer self assembly), 분자 자기 조립(molecular self assembly) 등이 있으며, 하향식 기법으로 X선 리소그래피(X-ray lithography), 전자빔 리소그래피(e-beam lithography), 이온빔 리소그래피(ion-beam lithography), 프린팅과 임프린팅(printing and imprinting) 등이 있다.

[0006] 이러한 종래의 방법들은 평면적 기법이기 때문에 원하는 형상의 3차원적인 나노와이어(현수형 나노와이어 등)를 만들기가 어려우며, 고온 공정으로 비용이 많이 들어가고, 제작 가능한 나노와이어의 물질이 제한되는 문제가 있다.

[0007] 한편, 보다 최근의 나노와이어 제작방법으로 전기 방사를 이용한 나노와이어의 제작방법이 있으며, 이는 소결

(sintering) 또는 하소(calcinations)을 이용하여 금속 산화물 나노와이어를 제작하는 방법과 폴리머 템플릿에 다른 물질을 증착하는 방법이 있다.

- [0008] 종래의 전기 방사를 이용한 나노와이어 제작방법은 현수형 나노와이어의 제작은 가능하나, 나노와이어가 형성되는 위치 제어가 불가능하고, 나노와이어의 물질이 제한적인 문제가 있다.

## 선행기술문헌

### 비특허문헌

- [0010] (비특허문헌 0001) Hollow ZnO Nanofibers Fabricated Using Electrospun Polymer Templates and Their Electronic Transport Properties, ACS Nano, Vol. 3, pp. 2623-2631, 2009.

## 발명의 내용

### 해결하려는 과제

- [0011] 본 발명에서는 이러한 종래 기술의 문제점을 보다 효과적으로 해결하기 위해, 현수형 나노와이어를 위치선택적으로 제조할 수 있을 뿐만 아니라, 전체 공정을 저온에서 진행하면서도 형성되는 나노와이어의 굵기를 조절할 수 있을 현수형 나노와이어의 제조방법을 제공하고자 한다. 또한, 본 발명의 현수형 나노와이어의 제조방법은 보다 다양한 물질로 나노와이어를 형성할 수 있다.

### 과제의 해결 수단

- [0013] 본 발명의 일 실시 형태로는, 마이크로 갭을 가지는 MEMS 플랫폼에 폴리머 용액을 전기방사하여 나노급 폴리머선을 형성하는 단계; 나노급 폴리머선에 나노와이어 물질을 증착시키는 단계; 용매로 나노급 폴리머선을 제거하여 나노선을 형성하는 단계; 및 용매를 건조시켜 나노선을 뭉치게 하여 나노와이어를 형성하는 단계:를 포함하는 현수형 나노와이어의 제조방법을 들 수 있다.
- [0014] 본 발명의 용어 "나노선"은 나노스케일의 단일 가닥 금속선을 의미하며, "나노와이어"는 이러한 복수의 나노선들이 뭉쳐져서 하나의 나노선이 된 상태를 의미한다.
- [0015] 상기 MEMS 플랫폼은, 실리콘 전극이 마이크로 갭을 가지고 서로 이격되어 형성된 것이 바람직하며, 상기 나노급 폴리머선의 직경은, 100 ~ 1000 nm일 수 있다.
- [0016] 또한, 상기 폴리머 용액은, 전가방사하여 나노급 폴리머선을 형성할 수 있는 폴리머를 용매에 녹여 제작된 용액으로, 예를 들어, 폴리에틸렌옥사이드, 폴리우레탄, 폴리에틸렌, 폴리프로필렌, 폴리스티렌, 폴리비닐클로라이드 및 폴리부타디엔으로 이루어진 군 중에서 적어도 하나 이상을 포함하는 폴리머 용액일 수 있다.
- [0017] 상기 나노와이어 물질은, 증착(evaporation)이 가능한 물질로, 예를 들어, 은(Ag), 알루미늄(Al), 금(Au), 팔라듐(Pd), 구리(Cu), 철(Fe), 니켈(Ni), 크롬(Cr), 마그네슘(Mg), 망간(Mn), 몰리브덴(Mo), 인(P), 납(Pb), 백금(Pt), 루테튬(Ru), 티탄(Ti), 텅스텐(W), 아연(Zn) 및 이들의 산화물로 이루어진 군 중에서 적어도 하나 이상을 포함할 수 있다.
- [0018] 상기 용매로는 나노급 폴리머선을 제거할 수 있으면서 증착된 나노와이어 물질과 MEMS 플랫폼에 손상을 가하지 않은 용매를 사용할 수 있으며, 예를 들어 상기 용매는 클로로포름 용액, 아세톤(acetone) 용액, 다이메틸폼아마이드(dimethylformamide) 또는 정제수일 수 있다.
- [0019] 상기 전기방사의 조건(전기방사의 시간, 전기방사의 전압, 전기방사의 거리, 전기방사 되는 용액)을 조절하여 형성되는 나노와이어의 직경을 조절할 수 있다.
- [0020] 또한, 상기 나노와이어 물질을 증착시키는 단계는, 전자빔 기상 증착법(e-beam evaporation), 열 증착법(thermal evaporation) 또는 스퍼터링(sputtering) 으로 수행될 수 있으며, 나노와이어 물질을 10 ~ 30nm의 두께로 증착시키는 것이 바람직하다.
- [0021] 상기 용매를 건조시켜 나노선을 뭉치게 하여 나노와이어를 형성하는 단계는 상온에서 수행될 수 있다.

### 발명의 효과

- [0023] 본 발명에 따른 현수형 나노와이어의 제조방법은 용매를 건조시키는 단계에서 발생하는 용매의 표면장력(surface tension)을 이용함으로써, 나노와이어가 형성되는 위치를 조절할 수 있다.
- [0024] 또한, 전기방사를 이용해 나노와이어의 굵기를 조절할 수 있으며, 다양한 물질로 나노와이어를 형성할 수 있다.
- [0025] 또한, 본 발명에 따른 현수형 나노와이어의 제조방법은 전체공정이 저온에서 진행되기 때문에 고온이 가해지면 안 되는 기관 등에도 나노와이어를 형성할 수 있을 뿐만 아니라, 나노와이어 물질에도 고온이 가해지지 않기 때문에 보다 다양한 물질로 나노와이어를 형성할 수 있다.
- [0026] 또한, 본 발명에 따른 현수형 나노와이어의 제조방법은 일괄공정(batch process)으로 이루어져 제조 비용을 절감할 수 있다.

### 도면의 간단한 설명

- [0028] 도 1은 본 발명의 일 실시예에 따른 현수형 나노와이어의 제조방법을 도식적으로 나타낸 것이다.
- 도 2는 본 발명의 일 실시예에 따른 MEMS 플랫폼의 측면도이다.
- 도 3은 본 발명의 일 실시예에 따른 MEMS 플랫폼의 정면도이다.
- 도 4는 본 발명의 일 실시예에 따른 나노와이어의 형성 원리를 나타낸 모식도이다.
- 도 5는 본 발명의 일 실시예에 따른 나노와이어를 SEM으로 관찰한 이미지이다.
- 도 6은 전기방사 시간을 달리하여 제조한 나노와이어를 SEM으로 관찰한 이미지이다.

### 발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

- [0029] 이하에서는 본 발명의 실시예와 도면을 참조하여 본 발명을 좀 더 상세히 설명한다. 이들 실시예는 오로지 본 발명을 보다 구체적으로 설명하기 위해 예시적으로 제시한 것을 뿐, 본 발명의 범위가 이들 실시예에 의해 제한되지 않는다는 것은 이 기술분야에서 통상의 지식을 가지는 자에 있어서 자명할 것이다.
- [0030] 또한, 본 명세서 및 청구범위에 사용된 용어나 단어는 통상적이거나 사전적인 의미로 한정하여 해석되어서는 아니 되며, 본 발명의 기술적 사상에 부합하는 의미와 개념으로 해석되어야 함을 밝혀둔다.
- [0031] 도면에서 제안된 발명을 명확하게 설명하기 위해서 설명과 관계없는 부분은 생략하였으며, 명세서 전체를 통하여 유사한 부분에 대해서는 유사한 도면 부호를 붙였다. 그리고 어떤 부분이 어떤 구성요소를 "포함" 한다고 할 때, 이는 특별히 반대되는 기재가 없는 한 다른 구성요소를 제외하는 것이 아니라 다른 구성 요소를 더 포함할 수 있는 것을 의미한다.
- [0032] 본 발명의 용어 "나노선"은 나노스케일의 단일 가닥 금속선을 의미하며, "나노와이어"는 이러한 복수의 나노선들이 뭉쳐져서 하나의 나노선이 된 상태를 의미한다.
- [0033] 도 1은 본 발명의 일 실시예에 따른 현수형 나노와이어의 제조방법을 단계별로 나타낸 것이다.
- [0034] 도 1을 참조하여 설명하면, 본 발명의 일 실시예에 따른 현수형 나노와이어의 제조방법은 마이크로 갭을 가지는 MEMS 플랫폼에 폴리머 용액을 전기방사하여 나노급 폴리머선을 형성하는 단계(S100); 나노급 폴리머선에 나노와이어 물질을 증착시키는 단계(S200); 용매로 나노급 폴리머선을 제거하여 나노선을 형성하는 단계(S300); 및 용매를 건조시켜 복수의 나노선을 뭉치게 하여 나노와이어를 형성하는 단계(S400);를 포함할 수 있다. 본 발명의 현수형 나노와이어의 제조방법은 나노와이어가 형성되는 위치와 나노와이어의 직경을 조절할 수 있다. 또한, 전체공정이 저온에서 진행되기 때문에 고온이 가해지면 안 되는 기관 등에도 나노와이어를 형성할 수 있을 뿐만 아니라, 나노와이어 물질에도 고온이 가해지지 않기 때문에 보다 다양한 물질로 나노와이어를 형성할 수 있다. 나아가, 본 발명에 따른 현수형 나노와이어의 제조방법은 일괄공정(batch process)으로 이루어져 제조 비용을 절감할 수 있다.
- [0035] 마이크로 갭을 가지는 MEMS 플랫폼에 폴리머 용액을 전기방사하여 나노급 폴리머선을 형성하는 단계(S100)는, 폴리머 용액을 전기방사하여 MEMS 플랫폼 상에 다수의 나노급 폴리머선을 형성하는 단계로, 마이크로 갭을 통해 나노급 폴리머선이 현수형(suspended)으로 형성된다.

- [0036] 상기 MEMS 플랫폼은, 도 2와 같이, 실리콘 전극(110)이 3 내지 15 $\mu$ m의 마이크로 갭(130)을 가지고 서로 이격되어 형성되는 것이 바람직하다. 상기 실리콘 전극(110)은 SOI(Silicon on Insulator) 웨이퍼를 이용해 제조된 것으로, 실리콘층(150) 사이에 SiO<sub>2</sub> 절연층(170)이 형성되어 있는 구조일 수 있다.
- [0037] 또한, 도 3과 같이, 상기 실리콘 전극(110)은 뾰족하게 튀어나온 삼각형 팁 형태로, 뾰족하게 튀어나온 부분이 서로 마주보게 위치하는 것이 바람직하다.
- [0038] 상기 실리콘 전극(110)의 표면은 부분적으로 소수성(hydrophobicity)으로 처리가 될 수 있다. 이와 같이, 실리콘 전극(110)의 표면이 부분적으로 소수성(hydrophobicity)이 된 경우에는, 후술되는 용매를 건조시켜 나노선을 뭉치게 하여 나노와이어를 형성하는 단계(S400)에서 용매가 응축되는 위치를 조절할 수 있어(소수성처리 되지 않은 표면으로 용매가 응축됨), 나노와이어의 형성위치를 제어할 수 있다.
- [0039] 상기 폴리머 용액은 전기방사법을 통해 나노급 폴리머선을 형성하기 위한 것으로, 전기방사하여 나노급 폴리머선을 형성할 수 있으며 이후 용매로 나노급 폴리머선을 제거할 수 있는 폴리머 용액이면 특별히 제한되지 않는다. 예를 들어, 상기 폴리머 용액은 폴리에틸렌옥사이드, 폴리우레탄, 폴리에틸렌, 폴리프로필렌, 폴리스티렌, 폴리비닐클로라이드 및 폴리부타디엔으로 이루어진 군 중에서 적어도 하나 이상을 포함하는 것이 바람직하며, 더욱 바람직하게는 폴리에틸렌옥사이드를 포함할 수 있다.
- [0040] 상기 전기방사의 조건(전기방사의 시간, 전기방사의 전압, 전기방사의 거리, 전기방사 되는 용액)을 조절하여 형성되는 나노와이어의 직경을 조절할 수 있다. 구체적으로, 전기방사 시간이 길어질수록 형성되는 나노급 폴리머선이 많아지게 되어, 형성되는 나노선이 많아지게 되고, 이에 따라 뭉쳐지는 나노선의 수가 많아 지기 때문에 최종적으로 생성되는 나노와이어가 굵어지게 된다. 또한, 전기방사의 조건을 조절하여 형성되는 나노급 폴리머선의 직경이 커지게 되면 최종적으로 생성되는 나노와이어의 직경이 커지게 된다.
- [0041] 상기 전기방사는 일반적인 전기방사법을 통해 수행될 수 있다. 일반적인 전기방사법의 원리는 폴리머 용액이 시린지의 토출 노즐을 통해 MEMS 플랫폼 상에 방사되어 나노급 폴리머선이 형성되는 것으로, 나노급 폴리머선을 정렬시키기 위해 두 개의 컬렉터 전극을 활용할 수 있다. 이 때 시린지에는 고압전원장치를 통해 전원이 인가된다. 이 과정을 통하여 MEMS 플랫폼 상에 굵기가 거의 일정한 폴리머선들을 얻을 수 있다. 이러한 전기방사의 시간은 약 2 내지 10초 일 수 있다.
- [0042] 상기 나노급 폴리머선의 직경은 특별히 제한되지 않으나, 후술된 나노선의 형성을 유리하게 하고, 형성된 나노선의 응집을 원활하게 하기 위해, 약 100 ~ 1000 nm인 것이 바람직하다.
- [0043] 나노급 폴리머선에 나노와이어 물질을 증착시키는 단계(S200)에서 나노와이어 물질은 증착(evaporation) 가능한 물질이면 특별히 제한되지 않는다. 예를 들어, 상기 나노와이어 물질은 은(Ag), 알루미늄(Al), 금(Au), 팔라듐(Pd), 구리(Cu), 철(Fe), 니켈(Ni), 크롬(Cr), 마그네슘(Mg), 망간(Mn), 몰리브덴(Mo), 인(P), 납(Pb), 백금(Pt), 루테튬(Ru), 티탄(Ti), 텅스텐(W), 아연(Zn) 및 이들의 산화물로 이루어진 군 중에서 적어도 하나 이상을 포함할 수 있다.
- [0044] 이러한 나노와이어 물질은 기상 증착법(evaporation)을 통해 나노급 폴리머선에 증착될 수 있다. 이러한 기상 증착법(evaporation)으로는 전자빔 기상 증착법(e-beam evaporation), 열 증착법(thermal evaporation), 스퍼터링(Sputtering) 등을 사용할 수 있다.
- [0045] 나노와이어 물질의 증착은, 도 1에 도시된 같이, 소정의 각도로 비스듬하게 기울여져(slanted) 수행될 수 있다. 상기 소정의 각도는 35 내지 55° 인 것이 바람직하며, 더욱 바람직하게는 45° 일 수 있다.
- [0046] 나노와이어 물질이 비스듬하게 기울여져(slanted) 증착되는 경우에는 보다 얇은 직경을 갖는 나노와이어를 생성할 수 있을 뿐만 아니라, MEMS 플랫폼에 나노와이어 물질이 잘 붙어 있게 되어 후술될 용매로 나노급 폴리머선을 제거하여 나노선을 형성하는 단계(S300)에서 나노와이어 물질이 폴리머선과 같이 제거되지 않고 나노선을 용이하게 형성하게 된다.
- [0047] 나노급 폴리머선에 나노와이어 물질을 증착시키는 단계(S200)에서 증착된 나노와이어 물질의 두께는 약 10 ~ 30nm 인 것이 바람직하며, 더욱 바람직하게는 10 ~ 20nm일 수 있다. 증착된 나노와이어 물질의 두께가 10nm 미만인 경우에는 나노급 폴리머선을 제거하는 과정에서 쉽게 끊어져 나노선을 형성하기 어렵고, 두께가 30nm를 초과하는 경우에는 후술될 나노선이 하나로 뭉쳐지지 않게 된다.
- [0048] 용매로 나노급 폴리머선을 제거하여 나노선을 형성하는 단계(S300)에서는, 나노와이어 물질이 증착된 MEMS 플랫폼



폼을 용매에 담가 MEMS 플랫폼 상에 형성된 나노급 폴리머선을 제거한다. 나노급 폴리머선이 제거되면 나노급 폴리머선에 증착된 나노와이어 물질만 남게 됨으로써 복수의 나노선이 형성된다.

[0049] 이러한 용매로는 나노급 폴리머선을 제거 할 수 있으면서 증착된 나노와이어 물질과 MEMS 플랫폼에 손상을 가하지 않는 용매라면 특별히 제한되지 않고 사용될 수 있다. 예를 들어, 상기 용매로는 클로로포름 용액, 아세톤(acetone) 용액, 다이메틸폼아마이드(dimethylformamide) 또는 정제수 등을 사용할 수 있다.

[0050] 용매를 건조시켜 복수의 나노선을 뭉치게 하여 나노와이어를 형성하는 단계(S400)는, 용매가 건조되면서 발생하는 용매의 표면장력(surface tension)에 의해 복수의 나노선을 하나로 뭉치게하여 나노와이어를 형성하는 단계이다.

[0051] 도 4는 용매의 표면장력(surface tension)에 의해 복수의 나노선이 하나로 뭉치는 원리를 나타낸 개념도이다. 이를 참조하여 설명하면, 용매가 건조되는 과정에서 표면장력(surface tension)이 발생하게 되어 용매가 소정의 위치로 응축되면서 증발하게 된다. 이 때, 복수의 나노선이 표면장력(surface tension)에 의해 용매가 응축되는 소정의 위치로 끌려오게 되면서 하나로 뭉치게 되어 나노와이어가 형성된다.

[0052] 건조과정에서 용매가 응축되는 위치를 조절함으로써 나노와이어가 형성되는 위치를 조절할 수 있다. 구체적으로, 도 4(b)와 같이 뾰족하게 튀어나온 팁 형태의 MEMS 플랫폼을 사용하는 경우에는, 건조과정에서 용매가 뾰족하게 튀어나온 팁의 끝부분에서 응축되어 증발하게 되고, 이에 따라 뾰족하게 튀어나온 팁의 끝부분에 나노와이어가 형성된다.

[0053] 이러한 건조과정은 상온(약 15 내지 25℃)에서 수행될 수 있다.

[0054] 필요에 따라 상기 용매를 건조시켜 나노선을 뭉치게 하여 나노와이어를 형성하는 단계(S400)전에 용매가 마르는 과정에서 나노선들을 응집시키는 힘이 다른 용매로 대체하는 단계를 거칠 수 있다. 상기 나노선의 물성치와 두께에 비해 용매가 나노선들을 응집시키는 힘이 낮은 경우 나노선이 뭉쳐지지 않으며, 상기 나노선의 물성치와 두께에 비해 용매가 나노선들을 응집시키는 힘이 높은 경우 나노선이 뭉치는 과정에서 끊어질 수 있기 때문에, 적절한 수준의 응집시키는 힘을 용매로 대체할 수 있다.

[0055] 예를 들어, PEO(polyethylene oxide) 폴리머선을 제거하는 용도로 정제수(DI water)를 이용한 후, 나노선들을 응집시키는 용매로 이소프로필알코올(isopropyl alcohol, IPA)을 이용할 수 있다.

#### [0057] [실시예 1]

[0058] 앞서 살펴본 본 발명의 나노와이어의 제조방법을 통해 나노와이어를 제작하였다.

[0059] 평평한 면을 갖는 실리콘 전극이 10 $\mu$ m의 간격으로 서로 이격되는 구조의 MEMS 플랫폼을 제작하였다. 상기 실리콘 전극은 SOI(Silicon on Insulator) 웨이퍼를 이용해 제작하였다. 상기 MEMS 플랫폼 상에 폴리에틸렌 옥사이드(polyethylene oxide, PEO) 용액을 5초간 전기방사 하여 다수의 나노급 PEO 폴리머선을 형성하였다. 이때 사용된 노즐은 26 gauge needle를 사용하였으며, 9kV의 전압을 시린지에 인가하여 전기방사 하였다.

[0060] PEO 폴리머선이 형성된 MEMS 플랫폼 상에 전자빔 기상 증착법(e-beam evaporation)으로 팔라듐(Pd)를 10nm의 두께로 증착하였다. 팔라듐(Pd)의 증착은 45°의 각도로 비스듬하게 기울여져(slanted) 수행되었다.

[0061] 이 후, MEMS 플랫폼을 정제수(DI water)에 담가 PEO 폴리머선을 제거하고, 정제수(DI water)를 이소프로필알코올(IPA)로 교체하였다. 다음으로, 이소프로필알코올 (IPA)을 상온(25℃)에서 건조하여 나노와이어를 제조하였다.

#### [0063] [실시예 2]

[0064] 실시예 1과 동일한 방법으로 나노와이어를 제조하되, 뾰족하게 튀어나온 팁 형태의 실리콘 전극이 10 $\mu$ m의 간격으로 서로 이격되어 형성된 MEMS 플랫폼을 사용하여 나노와이어를 제조하였다.

#### [0066] [실험예 1: 나노와이어 생성여부 확인]

[0067] 나노와이어의 생성여부를 확인하기 위해 실시예 1 및 2를 주사전자현미경(Scanning Electron Microscope, SEM)으로 관찰하여 그 결과를 도 5에 나타내었다(실시예 1의 결과는 도 5(a)에, 실시예 2의 결과는 도 5(b)에 나타내었다).

[0068] 도 5에서 확인 되듯이, 이소프로필알코올(IPA)의 증발 과정에서 발생하는 표면장력(surface tension)에 의해 나노선이 하나로 뭉쳐져 나노와이어가 생성되는 것을 확인할 수 있었다. 특히, 도 5(b)를 통해, 나노와이어가 생



성되는 위치를 조절할 수 있음을 확인할 수 있었다(MEMS 플랫폼의 뾰족하게 튀어나온 팁의 끝부분에서 나노와이어가 생성).

[실험예 2: 전기방사 시간에 따른 나노와이어 굵기 조절]

전기방사 시간에 따라 최종적으로 형성되는 나노와이어 굵기를 확인하기 위해, 실시예 2와 동일한 방법으로 나노와이어를 제작하되, 전기방사 시간을 각각 2초 및 5초로 하여 나노와이어를 제작한 후, 이를 주사전자현미경 (Scanning Electron Microscope, SEM)으로 관찰하고 그 결과를 도 6에 나타내었다(도 6의 (a), (b) 및 (c)는 전기방사를 2초간 수행하여 제작된 나노와이어의 관찰 결과이고, 도 6의 (d), (e) 및 (f)는 전기방사를 5초간 수행하여 제작된 나노와이어의 관찰 결과이다).

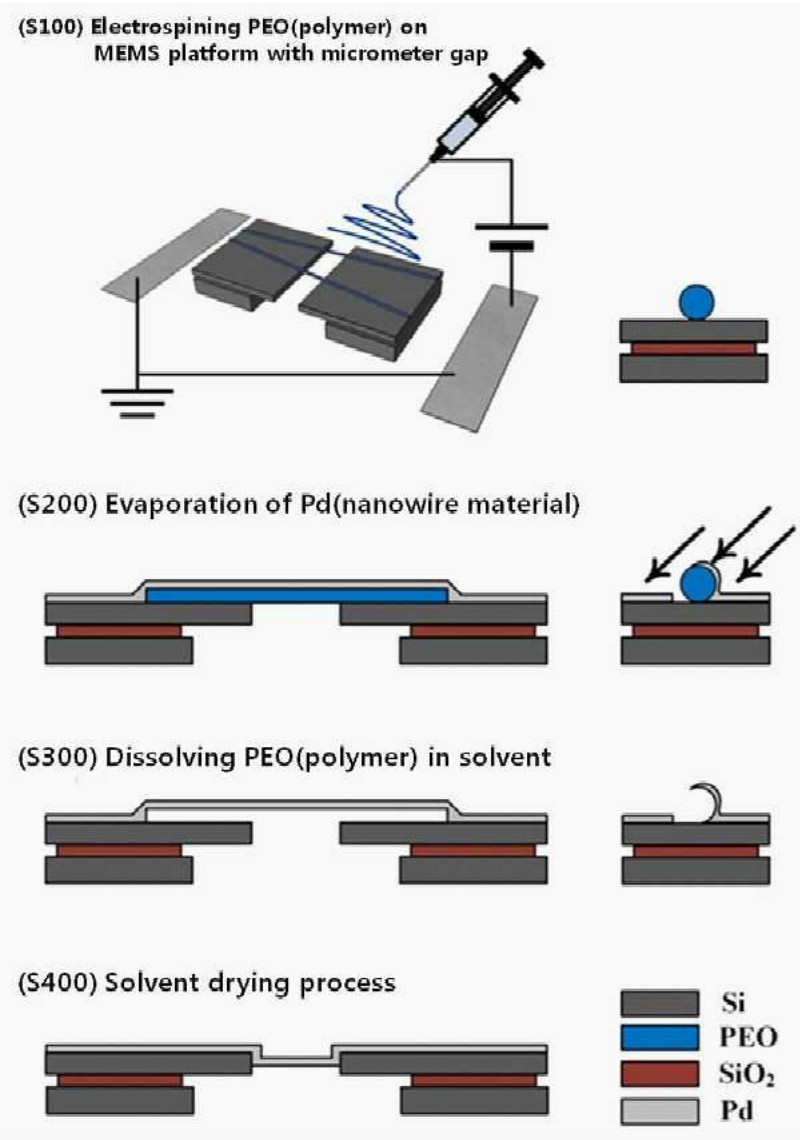
도 6에서 확인되듯이, 전기방사 시간이 2초인 경우 보다 5초인 경우 생성되는 나노와이어의 굵기가 더 굵은 것을 확인할 수 있었다. 이를 통해 전기방사 시간이 길어질수록 최종적으로 생성되는 나노와이어의 굵기가 굵으며, 전기방사 시간을 조절하여 생성되는 나노와이어의 굵기를 조절할 수 있음을 알 수 있었다.

## 부호의 설명

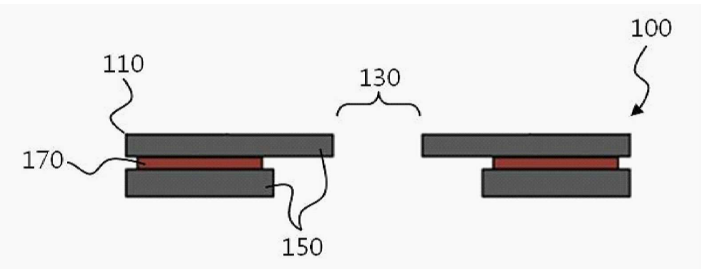
100: MEMS 플랫폼	110: 실리콘 전극
130: 마이크로 캡	150: 실리콘층
170: 절연층	

도면

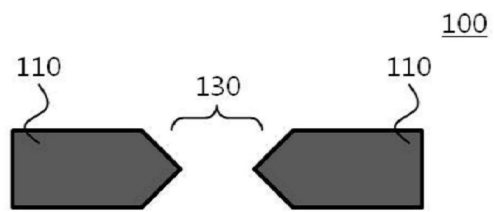
도면1



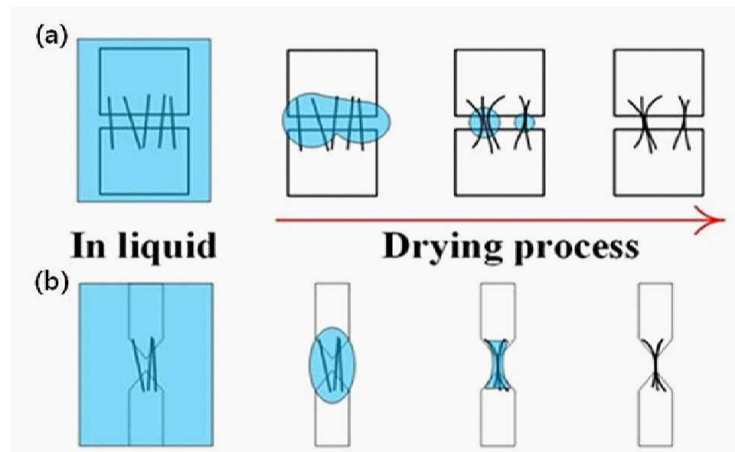
도면2



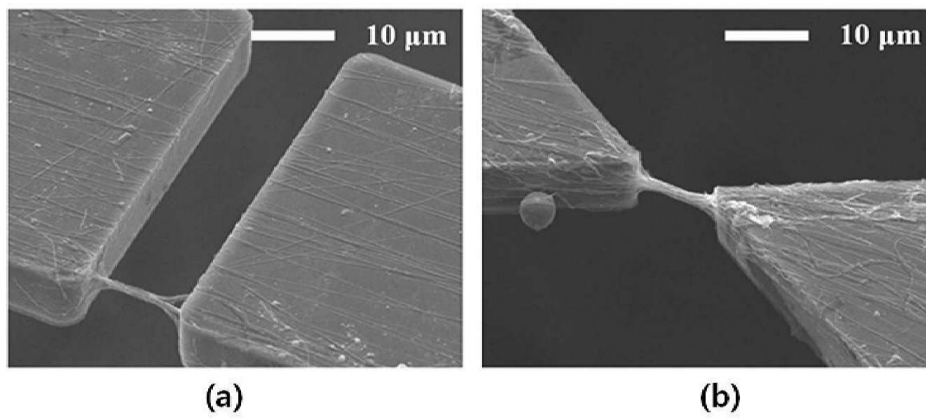
도면3



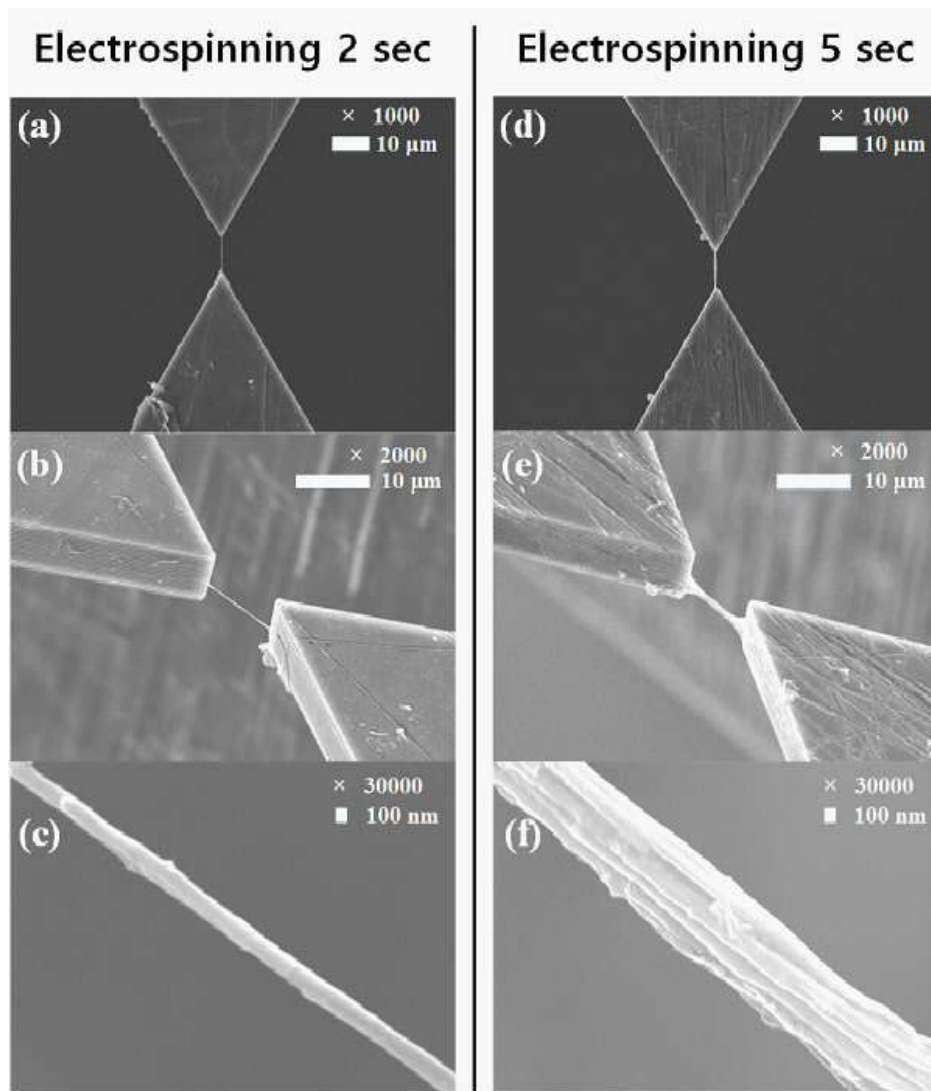
도면4



도면5



도면6



【심사관 직권보정사항】

【직권보정 1】

【보정항목】 발명(고안)의 설명

【보정세부항목】 식별번호 0015

【변경전】

상기 MEMS 플랫폼은, 실리콘 전극이 마이크로 갭을 가지고 서로 이격되어 형성된 것이 바람직하며, 상기 나노급 폴리머선의 직경은, 100 ~ 1000  $\mu\text{m}$ 일 수 있다.

【변경후】

상기 MEMS 플랫폼은, 실리콘 전극이 마이크로 갭을 가지고 서로 이격되어 형성된 것이 바람직하며, 상기 나노급 폴리머선의 직경은, 100 ~ 1000 nm일 수 있다.