



(19) 대한민국특허청(KR)  
(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2014년05월27일  
(11) 등록번호 10-1399347  
(24) 등록일자 2014년05월20일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)  
H01L 21/20 (2006.01) H01L 21/336 (2006.01)  
H01L 21/205 (2006.01)  
(21) 출원번호 10-2013-0063891  
(22) 출원일자 2013년06월04일  
심사청구일자 2013년06월04일  
(56) 선행기술조사문헌  
KR1020080008892 A  
JP2003109974 A  
KR1020080110709 A  
KR1020100057364 A

(73) 특허권자  
고려대학교 산학협력단  
서울특별시 성북구 안암로 145, 고려대학교 (안암  
동5가)  
(72) 발명자  
한창수  
서울 노원구 중계로 184, 107동 1202호 (중계동,  
라이프청구신동아아파트)  
우주연  
경기 이천시 부발읍 경충대로2092번길 39-52, 10  
3동 1402호 (현대성우1단지아파트)  
(74) 대리인  
특허법인충현

전체 청구항 수 : 총 13 항

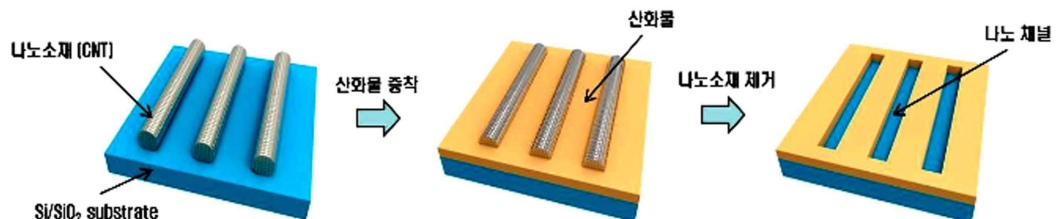
심사관 : 김중희

(54) 발명의 명칭 탄소나노튜브 이용한 나노 채널 제조 방법 및 이를 이용한 나노 구조물

(57) 요약

본 발명은 탄소나노튜브를 마스크 패턴으로 이용하여 기존의 패턴 제조 방법보다 간단하며, 다양하고 미세한 선 폭을 가지는 나노 채널의 제조 방법 및 상기 나노 채널을 이용하여 나노 구조물에 관한 것으로서, 본 발명의 나노 채널 제조 방법은 기존의 패턴 형성 방법에 비하여 경제적이며, 복잡한 전처리 과정 없이 나노 채널을 간단하게 형성 할 수 있다. 또한, 상기 방법으로 제조된 나노 채널은 기존의 방법으로는 구현하기 어려운 1 근방의 선 폭을 가지며, 상기 나노 채널은 고직접도를 요구하는 나노 구조물 및 전자 소자에 이용 할 수 있다.

대표도 - 도1



이 발명을 지원한 국가연구개발사업

|        |                         |
|--------|-------------------------|
| 과제고유번호 | 20110031635             |
| 부처명    | 한국연구재단                  |
| 연구사업명  | (원천)글로벌프론티어             |
| 연구과제명  | 분자 조작 및 조립기반 공정기술       |
| 기 여 율  | 1/1                     |
| 주관기관   | 고려대학교 산학협력단             |
| 연구기간   | 2011.09.29 ~ 2012.08.31 |

---

## 특허청구의 범위

### 청구항 1

기판 상에 탄소나노튜브를 형성하는 단계;

상기 탄소나노튜브가 형성된 기판 전면 상에 물질층을 형성하는 단계; 및

상기 탄소나노튜브 이외의 부분에만 물질층이 남도록 탄소나노튜브를 제거하는 단계를 포함하는 나노 채널의 제조 방법.

### 청구항 2

제1항에 있어서,

상기 탄소나노튜브 형성 단계는 상기 기판 상에 탄소나노튜브를 성장시키거나 도포하는 것으로 이루어지는 것을 특징으로 하는 나노 채널의 제조 방법.

### 청구항 3

제1항에 있어서,

상기 탄소나노튜브는 무작위(Random network) 또는 정렬(aligned) 패턴이며, 선포는 0.5-100 nm인 것을 특징으로 하는 나노 채널의 제조 방법.

### 청구항 4

제1항에 있어서,

상기 물질층은 실리콘, 게르마늄, 니켈, 철, 코발트, 알루미늄, 팔라듐, 금, 은, 구리, 알루미늄 산화물, 실리콘 산화물, 실리콘 질화물, 실리콘 산화질화물, 마그네슘 산화물, 인듐 산화물, 하프늄 산화물, 아연 산화물, 주석 산화물, 타니타늄 산화물, 망간 산화물, 텅스텐 산화물 및 마그네슘 불화물로 이루어진 군으로부터 선택되는 하나 또는 그 이상을 포함하는 것을 특징으로 하는 나노 채널의 제조 방법.

### 청구항 5

제1항에 있어서,

상기 물질층 형성 단계는 원자층 증착(Atomic layer deposition), 열증착(Thermal evaporation), 전자빔 증착(E-beam evaporation) 및 화학기상 증착(Chemical vapor deposition)으로 이루어지는 군으로부터 선택되는 어느 하나의 방법에 의해서 이루어지는 것을 특징으로 하는 나노 채널의 제조 방법.

### 청구항 6

제1항에 있어서,

상기 나노 채널은 선포가 0.5-100 nm인 것을 특징으로 하는 나노 채널의 제조 방법.

### 청구항 7

제1항에 의하여 제조되는 나노 채널이 형성된 기판 상에 나노 물질을 형성하는 단계; 및

상기 나노 물질이 형성된 기판 상의 물질층을 제거하는 단계를 포함하는 나노 구조물의 제조 방법.

### 청구항 8

제7항에 있어서,

상기 나노 물질은 실리콘, 게르마늄, 아세나이드, 탄소, 니켈, 철, 코발트, 알루미늄, 팔라듐, 금, 은, 구리, 알루미늄 산화물, 실리콘 산화물, 실리콘 질화물, 실리콘 산화질화물, 마그네슘 산화물, 인듐 산화물, 하프늄 산화물, 아연 산화물, 주석 산화물, 타니타늄 산화물, 망간 산화물, 텅스텐 산화물 및 마그네슘 불화물로 이루

어진 군으로부터 선택되는 하나 또는 그 이상을 포함하는 것을 특징으로 하는 나노 구조물의 제조 방법.

#### 청구항 9

제7항에 있어서,

상기 나노 물질을 형성하는 단계는 원자층 증착(Atomic layer deposition), 열증착(Thermal evaporation), 전자빔 증착(E-beam evaporation), 및 화학기상 증착(Chemical vapor deposition)으로 이루어지는 군으로부터 선택되는 어느 하나의 방법에 의해서 이루어지는 것을 특징으로 하는 나노 구조물의 제조 방법.

#### 청구항 10

제7항에 있어서,

상기 물질층을 제거하는 단계는 에치트(Etchant)를 사용하여 들어올리는 방법에 의해서 이루어지는 것을 특징으로 하는 나노 구조물의 제조 방법.

#### 청구항 11

제7항 내지 제10항 중 어느 하나의 항에 의하여 제조되는 나노 구조물.

#### 청구항 12

제11항에 있어서,

상기 나노 구조물은 선평이 0.5-100 nm인 것을 특징으로 하는 나노 구조물.

#### 청구항 13

제11항에 따른 나노 구조물을 포함하는 것을 특징으로 하는 전자 소자.

### 명세서

#### 기술 분야

[0001] 본 발명은 탄소나노튜브를 이용한 나노 채널 제조 방법 및 이를 이용한 나노 구조물에 관한 것으로서, 더욱 상세하게는 탄소나노튜브를 마스크 패턴으로 이용하여 초미세 선평을 가지는 나노 채널의 제조 방법 및 이를 이용한 나노 구조물에 관한 것이다.

#### 배경 기술

[0002] 최근 개발되고 있는 대부분의 전자 제품들은 각종 전자 부품 소자들의 고집적화를 통해 사용자가 요구하는 고성능 및 저비용을 구현하고자 노력하고 있다. 이러한 부품 소자의 집적도가 높아지면서 소자들을 구성하는 나노단위의 패턴 및 해당 소자의 선평 역시 미세화되고 있으며, 기존 소자의 한계를 뛰어넘을 수 있는 차세대 소자에 대한 연구의 중요성이 날로 증대되고 있다.

[0003] 현재 나노 단위의 패턴을 형성할 수 있는 방법으로는 대표적으로 포토 리소그래피(photo lithography), 전자빔 리소그래피(e-beam lithography), 집중 이온 빔(focused ion beam)을 이용한 리소그래피 및 나노임프린트 리소그래피(nanoimprint lithography) 등이 있다.

[0004] 그러나, 상기 방법들은 공정 효율이 낮고 미세 패턴을 형성하기 위해서는 시간과 비용이 많이 소요되며, 고가의 장비를 사용해도 나노 패턴의 선평이 수십 나노미터라는 한계를 가지기 때문에 고집적화를 요구하는 최근의 수요에 대응하기 어려운 형편이다.

[0005] 이에 대해 하기 비특허문헌 1은 나노 간격을 갖는 전극을 만드는데 있어서 금속 나노와이어를 이용했다. 금-은-금 (또는 금-니켈-금) 형태의 나노 와이어를 만들어서, 기판 위에 랜덤하게 뿌린 후, 그 위에 금/타이타늄 또는 실리카(SiO<sub>2</sub>)를 증착하였다. 음파 처리(sonication)를 통해 금-은-금 (또는 금-니켈-금) 나노 와이어를 기판으로부터 떼어낸 후, 금-은-금 (또는 금-니켈-금) 나노 와이어로부터 은만을 (또는 니켈 만을) 선택적으로 식각하여 금 사이의 은이 (또는 니켈이) 있던 자리에 나노 간격이 형성되도록 하였다. 이 방법을 통해 만들어진 나노 와이어 전극에는 최소 5 nm의 크기를 갖는 나노 간격이 형성되기 때문에 높은 해상도의 나노 스케일의 소자 제

작 측면에서 이점을 갖는다.

[0006] 그러나, 상기 공정에 의해 만들어진 금속 나노 와이어를 이용하여 소자를 만들기 위해서는, 금속 나노 와이어 양 끝에 정확히 탐침용 전극(probing electrode)을 증착해야 하며 이를 위해서 고가의 전자빔 리소그래피(E-beam lithography) 기술을 이용해야 하므로 대면적 또는 대량 생산에 적합하지 않다.

[0007] 한편, 탄소나노튜브와 같은 1차원 나노 소재들은 직경이 수 내지 수십 나노미터 정도로 매우 작아 소자의 미세화에 유리할 수 있고, 강도가 매우 높고, 고탄력성을 가지고 있으며, 전자를 손실 없이 전달하고, 부피에 비해 표면적이 매우 넓어서 다양한 연구 분야에 사용 할 수 있다. 특히, 탄소 나노튜브를 마스크로 쓸 경우에 최소 1 nm의 크기를 갖는 나노 채널이 형성되기 때문에 이를 이용한 나노 구조물 제작 시 높은 해상도의 나노 소자 제작 측면에서 기존 소자의 한계를 극복할 수 있을 것이다.

## 선행기술문헌

### 비특허문헌

[0008] (비특허문헌 0001) 비특허문헌 1: L. Qin, S. Park, L. Huang, C. A. Mirkin, Science, 309, 113-115 (2005)

## 발명의 내용

### 해결하려는 과제

[0009] 따라서, 본 발명은 상기와 같은 문제점을 해결하기 위하여 탄소나노튜브를 마스크 패턴으로 이용하여 기존의 패턴 제조 방법보다 간단하며, 다양하고 미세한 선폴을 가지는 나노 채널의 제조 방법을 제공한다.

[0010] 또한, 본 발명은 상기 나노 채널을 이용하여 나노 구조물을 제조하는 방법 및 이에 의해 제조되는 나노 구조물을 제공한다.

### 과제의 해결 수단

[0011] 본 발명의 일 구체예에 따르면, 본 발명은 하기의 단계를 포함하는 나노 채널의 제조 방법을 제공한다:

[0012] 기관 상에 탄소나노튜브를 형성하는 단계;

[0013] 상기 탄소나노튜브가 형성된 기관 전면 상에 물질층을 형성하는 단계; 및

[0014] 상기 형성된 탄소나노튜브 이외의 부분에만 물질층이 남도록 탄소나노튜브를 제거하는 단계.

[0015] 상기 탄소나노튜브 형성 단계는 상기 기관 상에 탄소나노튜브를 성장시키거나 도포하는 것으로 이루어질 수 있는 것을 특징으로 하는 나노 채널의 제조 방법을 제공한다.

[0016] 상기 형성된 탄소나노튜브는 무작위(Random network) 또는 정렬(aligned) 패턴이고, 그 선폴은 0.5-100 nm인 것을 특징으로 하는 나노 채널의 제조 방법을 제공한다.

[0017] 상기 물질층은 실리콘, 게르마늄, 니켈, 철, 코발트, 알루미늄, 팔라듐, 금, 은, 구리, 알루미늄 산화물, 실리콘 산화물, 실리콘 질화물, 실리콘 산화질화물, 마그네슘 산화물, 인듐 산화물, 하프늄 산화물, 아연 산화물, 주석 산화물, 타니타늄 산화물, 망간 산화물, 텅스텐 산화물 및 마그네슘 불화물로 이루어진 군으로부터 선택되는 하나 또는 그 이상을 포함하는 것을 특징으로 하는 나노 채널의 제조 방법을 제공한다.

[0018] 상기 물질층 형성 단계는 원자층 증착(Atomic layer deposition), 열증착(Thermal evaporation), 전자빔 증착(E-beam evaporation) 및 화학기상 증착(Chemical vapor deposition)으로 이루어지는 군으로부터 선택되는 어느 하나의 방법에 의해서 이루어지는 것을 특징으로 하는 나노 채널의 제조 방법을 제공한다.

[0019] 또한, 본 발명의 다른 일 구체예에 따르면, 본 발명은 하기의 단계를 포함하는 나노 구조물의 제조 방법을 제공한다:

[0020] 상기의 방법에 의해 제조되는 나노 채널이 형성된 기관 상에 나노 물질을 형성하는 단계; 및

[0021] 상기 나노 물질이 형성된 기관 상의 물질층을 제거하는 단계.

- [0022] 상기 나노 물질은 실리콘, 게르마늄, 아세나이드, 탄소, 니켈, 철, 코발트, 알루미늄, 팔라듐, 금, 은, 구리, 알루미늄 산화물, 실리콘 산화물, 실리콘 질화물, 실리콘 산화질화물, 마그네슘 산화물, 인듐 산화물, 하프늄 산화물, 아연 산화물, 주석 산화물, 타니타늄 산화물, 망간 산화물, 텅스텐 산화물 및 마그네슘 불화물로 이루어진 군으로부터 선택되는 하나 또는 그 이상인 것을 특징으로 하는 나노 구조물의 제조 방법을 제공한다.
- [0023] 상기 나노 물질을 형성하는 단계는 원자층 증착(Atomic layer deposition), 열증착(Thermal evaporation), 전자빔 증착(E-beam evaporation) 및 화학기상 증착(Chemical vapor deposition)으로 이루어지는 군으로부터 선택되는 어느 하나의 방법에 의해서 이루어질 수 있는 것을 특징으로 하는 나노 구조물의 제조 방법을 제공한다.
- [0024] 상기 물질층을 제거하는 단계는 에천트(Etchant)를 사용하여 들어올리는 방법에 의해서 이루어질 수 있는 것을 특징으로 하는 나노 구조물의 제조 방법을 제공한다.
- [0025] 또한, 본 발명은 상기 방법에 의해 제조되는 나노 구조물을 제공하고, 상기 나노 구조물을 포함하는 전자 소자를 제공할 수 있다.

### 발명의 효과

- [0026] 본 발명인 탄소나노튜브를 마스크 패턴으로 이용한 나노 채널의 제조 방법은 기존의 패턴 형성 방법에 비하여 경제적이며, 복잡한 전처리 과정 없이 간단하게 형성할 수 있다. 상기 탄소나노튜브를 마스크 패턴으로 이용하면 다양한 선포의 나노 채널 구현이 가능하며, 특히 기존의 방법으로는 구현하기 어려운 1 nm급의 선포를 가지는 나노 채널도 제조할 수 있다.
- [0027] 또한, 본 발명의 제조 방법에 의해 형성된 나노 채널을 이용하여 초미세 간격을 가지는 나노 구조물을 제공할 수 있다.

### 도면의 간단한 설명

- [0028] 도 1은 실시예 1에 따른 나노 채널 제조 과정의 개략도이다.
- 도 2a는 실시예 1의 (1)에 따른  $\text{SiO}_2/\text{Si}$  기판 상에 형성된 탄소 나노튜브의 SEM(주사전자 현미경) 이미지이다.
- 도 2b는 실시예 1의 (1)에 따른  $\text{SiO}_2/\text{Si}$  기판 상에 형성된 탄소 나노튜브의 AFM(원자힘 현미경) 이미지이다.
- 도 2c는 실시예 1의 (2)에 따른  $\text{Al}_2\text{O}_3$  물질층이 증착된 후의 SEM 이미지이다.
- 도 2d는 실시예 1의 (2)에 따른  $\text{Al}_2\text{O}_3$  물질층이 증착된 후의 AFM 이미지이다.
- 도 2e는 실시예 1의 (3)에 따른 탄소 나노튜브를 제거한 후의 나노 채널의 SEM 이미지이다.
- 도 2f는 실시예 1의 (3)에 따른 탄소 나노튜브를 제거한 후의 나노 채널의 AFM 이미지이다.
- 도 3은 실시예 2에 따른 나노 구조물 제조 과정의 개략도이다.
- 도 4a는 실시예 2의 (1)에 따른 나노 채널에 ZnO 나노물질을 증착한 후의 AFM 이미지이다.
- 도 4b는 실시예 2의 (2)에 따른  $\text{Al}_2\text{O}_3$  물질층을 제거한 후의 ZnO 나노 구조물의 AFM 이미지이다.

### 발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

- [0029] 이하, 본 발명을 상세하게 설명한다.
- [0030] 본 발명은 탄소나노튜브를 이용한 나노 채널의 형성 방법에 관한 것이며, 더욱 상세하게는 탄소나노튜브를 패터닝 마스크로 사용하여 기존의 방법에 비하여 간단하며, 다양한 선포를 가지는 초미세 나노 채널을 형성하는 방법 및 이를 이용하는 나노 구조물에 관한 것이다.
- [0031] 본 발명의 일 구체예에 따르면, 본 발명은 나노 채널의 제조 방법에 관한 것으로서, 하기의 단계를 포함하는 것을 특징으로 한다:
- [0032] 기판 상에 탄소나노튜브를 형성하는 단계;
- [0033] 상기 탄소나노튜브가 형성된 기판 전면 상에 물질층을 형성하는 단계; 및

- [0034] 상기 형성된 탄소나노튜브 이외의 부분에만 물질층이 남도록 탄소나노튜브를 제거하는 단계.
- [0035] 상기 기판은 실리콘 웨이퍼, 유리, 석영 및 플라스틱으로 이루어진 군으로부터 선택되는 어느 하나를 포함할 수 있으며, 이에 의해 한정되지 않는다.
- [0036] 상기 기판은 절연층을 포함할 수 있으며, 상기 절연층은 실리콘 산화물, 실리콘 질화물, ITO(Indium tin oxide) 및 알루미늄 산화물, 하프늄 산화물 로 이루어진 군으로부터 선택되는 어느 하나를 포함할 수 있으며, 이에 의해 한정되지 않는다.
- [0037] 바람직하게는 절연층이 도포된  $\text{SiO}_2/\text{Si}$ 를 사용하면 성장된 탄소나노튜브 자체가 마스크 패턴이 되어 다른 기판에 도포할 필요가 없으므로 제조 과정을 간소화 할 수 있다.
- [0038] 상기 기판에 탄소나노튜브를 형성하는 단계는 크게 두 가지 방법에 의하여 이루어질 수 있다.
- [0039] 첫째는 기판 상에 탄소나노튜브를 성장시켜 성장된 탄소나노튜브 그 자체가 마스크 패턴이 되는 것으로서, 화학 기상증착법(Chemical vapor deposition), 플라즈마강화화학기상증착법(Plasma enhanced chemical vapor deposition), 기상합성법(Vapor phase growth), 아크 방전법(Arc discharge), 열 분해법(Pyrolysis of hydrocarbon), 레이저 증착법(Laser ablation) 및 HiPco(High-pressure carbon monoxide process)으로 이루어진 군으로부터 선택되는 어느 하나의 방법에 의해서 이루어질 수 있으며, 이에 의해 한정되지 않는다. 구체적으로는 화학기상증착법(Chemical vapor deposition)을 사용할 수 있다.
- [0040] 둘째는 상기 탄소나노튜브를 기판 상에 도포하는 것으로서, 스프레이 코팅(spray coating), 스핀 코팅(spin coating), 딥 코팅(dip coating), 드롭 캐스팅(drop casting), 잉크젯 프린팅(ink-jet printing), 스크린 인쇄(screen printing), 도장법(stamp method), 닥터 블레이드(doctor blade) 및 롤투롤(roll-to-roll)으로 이루어진 군으로부터 선택되는 어느 하나의 방법에 의해서 이루어질 수 있으며, 이에 의해 한정되지 않는다.
- [0041] 상기 방법들로 형성된 탄소나노튜브는 단일벽 탄소나노튜브(Single-walled carbon nanotube), 이중벽 탄소나노튜브(Double-walled carbon nanotube), 다중벽 탄소나노튜브(Multi-walled carbon nanotube) 및 이들의 혼합물로 이루어진 군으로부터 선택되는 하나 또는 그 이상일 수 있다. 상기 방법으로 형성된 탄소나노튜브는 무작위(Random network) 또는 정렬(aligned) 패턴이며, 그 선포는 0.5-100 nm으로서 이를 마스크 패턴으로 이용하면 초미세 선포를 가지는 나노 채널을 형성할 수 있다.
- [0042] 상기 물질층은 실리콘, 게르마늄, 니켈, 철, 코발트, 알루미늄, 팔라듐, 금, 은, 구리, 알루미늄 산화물, 실리콘 산화물, 실리콘 질화물, 실리콘 산화질화물, 마그네슘 산화물, 인듐 산화물, 하프늄 산화물, 아연 산화물, 주석 산화물, 타니타늄 산화물, 망간 산화물, 텅스텐 산화물 및 마그네슘 불화물로 이루어진 군으로부터 선택되는 하나 또는 그 이상을 포함할 수 있으며, 이에 의해 한정되지 않는다. 구체적으로 알루미늄 산화물일 수 있다.
- [0043] 상기 물질층 형성 단계는 원자층 증착(Atomic layer deposition), 열증착(Thermal evaporation), 전자빔 증착(E-beam evaporation) 및 화학기상 증착(Chemical vapor deposition)으로 이루어지는 군으로부터 선택되는 어느 하나의 방법에 의해서 이루어질 수 있다. 특히, 원자층 증착 방법을 사용하면 1 nm 이하로 물질층을 형성할 수 있고, 저온 공정으로 최종 증착면에 영향을 거의 미치지 않으며, 증착 두께에 있어서 극히 컨트롤하고 균일하며 대면적으로 증착할 수 있어 바람직하다.
- [0044] 상기 탄소나노튜브의 제거는 급속 열확산 공정(Rapid thermal processing) 또는 반응성 이온 식각 공정(Reactive ion etching processing)에 의해서 이루어질 수 있으며, 구체적으로 물질층에 거의 영향을 미치지 않는 반응성 이온 식각 공정을 사용한다.
- [0045] 상기 탄소나노튜브가 제거되면 제거된 자리에 나노 채널이 형성되며 상기 나노 채널은 탄소나노튜브 직경과 동일한 0.5-100 nm의 선포를 가지게 된다.
- [0046] 또한, 본 발명의 다른 일 구체예로서 본 발명은 하기의 단계를 포함하는 나노 구조물의 제조 방법을 제공한다:
- [0047] 상기의 방법에 의해 제조되는 나노 채널이 형성된 기판 상에 나노 물질을 형성하는 단계; 및
- [0048] 상기 나노 물질이 형성된 기판 상의 물질층을 제거하는 단계.
- [0049] 상기 나노 물질은 반도체, 금속 및 산화물반도체이며 구체적으로 실리콘, 게르마늄, 니켈, 철, 코발트, 알루미늄, 팔라듐, 금, 은, 구리, 알루미늄 산화물, 실리콘 산화물, 실리콘 질화물, 실리콘 산화질화물, 마그네슘 산

화물, 인듐 산화물, 하프늄 산화물, 아연 산화물, 주석 산화물, 타니타늄 산화물, 망간 산화물, 텅스텐 산화물 및 마그네슘 불화물로 이루어진 군으로부터 선택되는 하나 또는 그 이상을 포함할 수 있으며, 이에 의해 한정되지 않는다. 구체적으로 아연 산화물을 사용할 수 있다.

[0050] 상기 나노 물질을 형성하는 단계는 원자층 증착(Atomic layer deposition), 열증착(Thermal evaporation), 전자빔 증착(E-beam evaporation), 및 화학기상 증착(Chemical vapor deposition)으로 이루어진 군으로부터 선택되는 어느 하나의 방법에 의해서 이루어질 수 있으며, 바람직하게는 원자층 증착 방법을 사용하면 나노 채널 안에 나노 물질을 완전히 증착할 수 있다.

[0051] 상기 물질층을 제거하는 단계는 에천트(Etchant)를 사용하여 물질층을 들어올리는 방법(lift-off)으로 제거할 수 있는데, 에천트는 물질층만을 선택적으로 녹여 물질층 상부의 나노 물질까지 같이 제거한다. 상기 방법으로 물질층과 물질층 상부의 나노 물질의 제거에 의해 나노 구조물을 형성하게 된다.

[0052] 또한, 본 발명은 상기 방법으로 제조된 나노 구조물을 제공하고, 이를 포함하는 전자 소자를 제공할 수 있다.

[0053] 본 발명을 이용하여 소자를 제작하는 대표적인 경우로는 형성된 나노물질의 원하는 양 측면에 금속 전극을 도포함으로써 전계효과트랜지스터(FET, Field Effect Transistor)와 같은 소자를 손쉽게 제조할 수 있다. 상기의 소자의 경우에는 기판에 의한 Back gate구조나 상기 구조에 절연층을 다시 도포하고 Gate전극을 만듦으로서 Top gate방식의 소자를 제작할 수도 있다.

[0054] 이하, 실시예를 들어 본 발명을 더욱 상세하게 설명한다. 그러나 이들 실시예 및 실험에는 본 발명을 보다 구체적으로 설명하기 위한 것으로, 본 발명의 범위가 이에 의하여 제한되지 않는다는 것은 당업계의 통상의 지식을 가진 자에게 자명할 것이다.

[0055] 실시예 1. 나노 채널 제조

[0056] 본 발명의 나노 채널 제조 과정을 도 1에 나타내었다. SiO<sub>2</sub> 절연층이 형성된 Si기판에 마스크 패터를 형성할 나노 소재로서 탄소나노튜브(CNT)를 성장시키고 산화물을 물질층으로 하여 증착하여 탄소나노튜브를 형성한다. 이후 탄소나노튜브를 제거하면 나노 채널이 형성된다.

[0057] (1) 탄소나노튜브 성장

[0058] Si/SiO<sub>2</sub> 기판에 철 촉매를 증착하였다. 철 촉매 표면을 균일하게 하기 위해 1분 동안 메탄올을 주입하였다. 그 후, 질소 가스로 기판을 건조시켰다. 물로 세척하여 메탄올을 제거한 후, 다시 질소 가스로 기판을 건조시켰다. 유기물을 선택적으로 제거하기 위해 기판을 CVD 시스템의 석영관에서 1 °C/s 램핑 속도로 900 °C에서 가열시키고 25분 동안 소성하였다. 그 후 기판을 다음과 같이 순차적으로 가스를 흘려주었다. 아르곤 기체를 5분 동안 흘려주고, 수소와 아르곤 기체를 다시 5분 동안 흘려주고, 다시 수소 기체를 5분 동안 흘려주었다. 수소 가스 분위기하에서 CVD 챔버를 1 °C/s 램핑 속도로 925 °C에서 가열시켰다. 메탄(26 sccm, 99.995%)과 수소 가스(60 sccm)를 에탄올 버블러에 통과시켜 기판에 탄소나노튜브가 성장하도록 1 기압 하에서 25분 동안 반응시켰다. 탄소나노튜브가 성장된 후에 용광로에 수소 가스를 흘려주어 주변온도로 냉각하였다. 추가적인 불순물 제거를 위해 고진공 (10<sup>-7</sup> Torr)하에서 800 °C로 10분 동안 열처리를 실시하였다. 그 결과 직경이 1-2 nm인 단일벽 탄소나노튜브를 제조하였다.

[0059] 도 2a는 실시예 1의 (1)단계에서 제조된 탄소나노튜브의 SEM 이미지이고, 도 2b는 AFM 이미지이다. 도 2a와 2b에서 측정한 결과 직경이 1-2 nm단일벽 탄소나노튜브가 제조되었음을 확인할 수 있다.

[0060] (2) 물질층 형성

[0061] 트리메틸알루미늄(trimethylaluminium, TMA, 97%) 및 H<sub>2</sub>O로 ALD시스템을 이용하여 상기 탄소나노튜브 패터에 무정형 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 물질층을 증착, 각각 1, 2 및 3 nm두께의 알루미늄 물질층을 형성하였다.

[0062] 상기 ALD 시스템을 이용하여 다음과 같이 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 물질층을 증착하였다. 먼저, 챔버 내부의 압력은 0.1 Torr로 하였고 기판의 온도는 225 °C로 하였다. 상기 챔버 내부의 압력이 안정화된 상태에서 탄소나노튜브가 패터닝된 기판에 TMA를 1초 동안 흐르게 하고, 증착 반응 후 잔류하는 TMA 물질은 200 sccm의 고순도 질소가스에 의해 30초 동안 퍼지하였다. 이 후 상기 기판 표면에 형성된 TMA 물질로 이루어진 층에 H<sub>2</sub>O를 1초 동안 흐르게 하고, 증착

반응 후 잔류하는  $H_2O$ 와 반응 부산물은 퍼지 가스로 제거하였다. 이러한 과정에서 상기 TMA 물질층과  $O_2$ 가 화학 흡착 반응을 하여  $Al_2O_3$  물질층이 형성되었다.  $Al_2O_3$  물질층이 기판 위와 탄소나노튜브 위에 형성되었다.

[0063] 도 2c는 실시예 1의 (2)단계에 따라  $Al_2O_3$  물질층이 형성된 후의 SEM 이미지이고,

[0064] 도 2d는 AFM 이미지이다. 도 2c 및 2d에서 측정된 결과 탄소나노튜브가 성장된 기판 위에  $Al_2O_3$  물질층이 형성되었음을 확인할 수 있다.

[0065] (3) 탄소나노튜브를 제거하여 나노 채널 형성

[0066] 탄소 나노튜브는 반응성 이온 식각 공정을 이용하여 제거하였다(20 sccm of  $O_2$  at 10 mtorr, 100W for 60 s). 그 결과 1 nm 직경의 나노 채널을 제조하였다.

[0067] 도 2e는 실시예 1의 (3)단계에 따라 탄소나노튜브를 제거한 후 형성된 나노 채널의 SEM 이미지이고,

[0068] 도 2f는 AFM 이미지이다. 도 2e 및 2f에서 측정된 결과 1 nm 직경의 나노 채널이 제조되었음을 확인할 수 있으며 이는 탄소나노튜브의 직경과 동일함을 알 수 있다.

[0069] 실시예 2. 나노 구조물 제조

[0070] 본 발명의 나노 구조물 제조 과정을 도 3에 나타내었다. 나노 채널이 형성된 기판 전면에 나노물질을 증착하고, 산화물(물질층)을 제거하면 나노 구조물이 형성된다.

[0071] (1) 나노 물질 증착

[0072] 디에틸징크(Diethylzinc, DEZ) 및  $H_2O$ 로 ALD시스템을 이용하여 상기 나노 채널에 ZnO를 증착, 각각 1, 2 및 3 nm두께의 ZnO층을 형성하였다. 앞서  $Al_2O_3$  물질층 증착과는 달리 나노 채널에 잘 채워질 수 있도록 expose 시간을 두었다. 챔버 내부의 압력은 0.1 Torr로 동일하며 기판의 온도는 150  $^{\circ}C$ 로 하였다. 상기 챔버 내부의 압력이 안정화된 상태에서 나노 채널이 형성된 기판에 DEZ를 0.01초 동안 흐르게 하고, 2초 동안 노출시켰다. 그 후 증착 반응 후 잔류하는 DEZ 물질은 200 sccm의 고순도 아르곤가스에 의해 5초 동안 퍼지한다. 이 후 상기 기판 표면에 형성된 DEZ 물질로 이루어진 층에  $H_2O$ 를 0.01초 동안 흐르게 하고 역시 2초 동안 노출시킨 후, 5초 동안 퍼지 가스로 잔여물을 제거하였다. 이러한 반복 과정에서 통해 ZnO층은 나노 채널에 형성되었으나, 1 내지 2 nm 샘플의 경우 박막 형성이 제대로 이루어지지 않았고, 3 nm 이상은 되어야 ZnO 나노 구조물을 형성할 수 있었다.

[0073] 도 4a는 실시예 2의 (1)에 따라 제조된 ZnO 나노 구조물의 AFM 이미지이다.

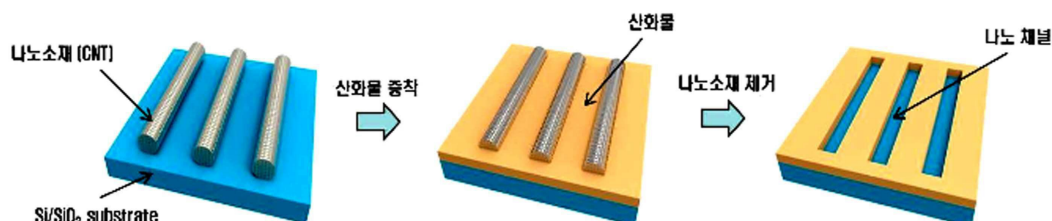
[0074] (2) 물질층(산화물) 제거

[0075]  $Al_2O_3$  물질층만 선택적으로 제거할 수 있는 에천트를 사용하여  $Al_2O_3$  물질층만 선택적으로 제거하여 ZnO 나노 구조물을 제조하였다.

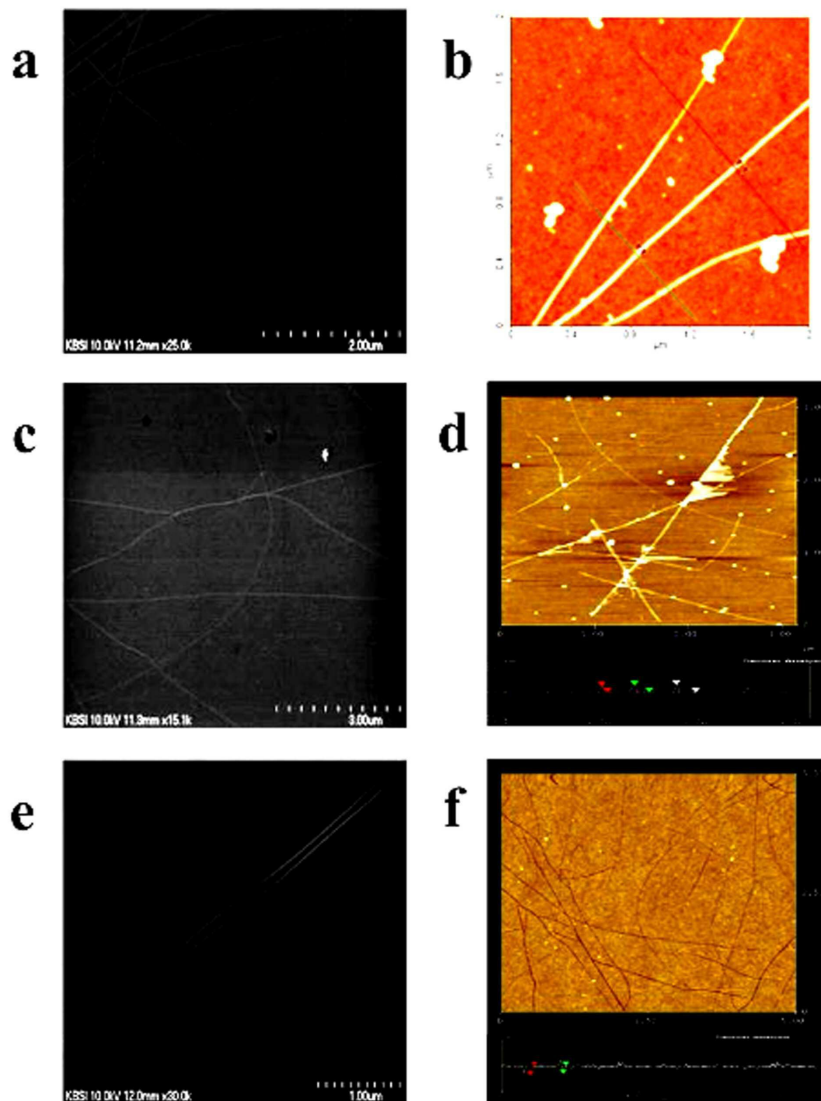
[0076] 도 4b는 실시예 2의 (2)에 따라 제조된 ZnO 나노 구조물의 AFM 이미지이다.

## 도면

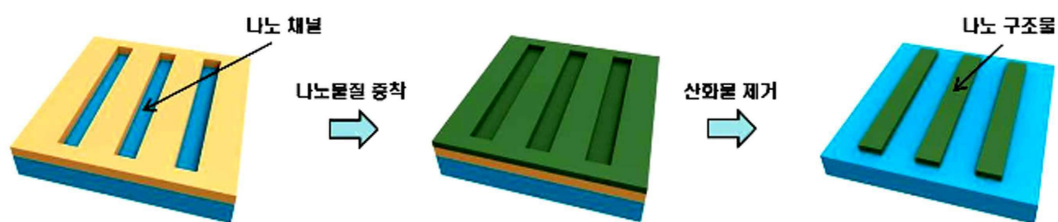
### 도면1



도면2



도면3



도면4

