	(19) 대한민국특허청(KR) (12) 공개특허공보(A)	(11) 공개번호 (43) 공개일자	10-2010-0036447 2010년04월08일
(51)	Int. Cl.	(71)	출원인
	<i>B82B 3/00</i> (2006.01) <i>H01L 21/20</i> (2006.01)		연세대학교 산학협력단
(21)	출원번호	(72)	발명자
(22)	출원일자		정운룡
	심사청구일자		서울 서대문구 신촌동 134 연세대학교
	2008년09월30일		고성욱
	2008년09월30일		서울 양천구 신월2동 464-22 경희빌라 2동 401호
			김성동
			경기 용인시 기흥구 상하동 풍림아파트 101-1503
		(74)	대리인
			이채형, 김승욱

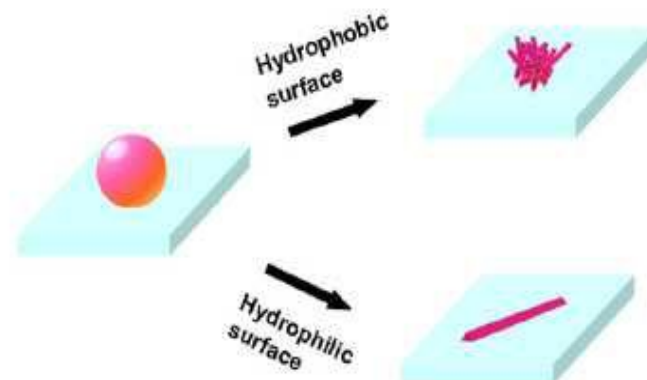
전체 청구항 수 : 총 21 항

#### (54) 기관 상에서 표면 에너지를 이용한 나노 와이어 성장 방법

##### (57) 요약

본 발명에 따라서 기관 상에서 나노 와이어를 성장시키는 방법이 제공된다. 상기 방법은 (A) 상기 기관의 적어도 일부를 친수성 표면으로 처리하는 단계와, (B) VI족 콜로이드 또는 전구체를 상기 기관의 표면에 적하하여 분산시키는 단계와, (C) 상기 기관을 가열하여 상기 콜로이드 또는 전구체를 상기 기관의 친수성 표면에서 나노 와이어 형태로 수평 성장시키는 단계를 포함하는 것을 특징으로 한다. 본 발명에 따르면, 고체 기관의 표면 에너지를 변화시킴으로써 a-Se 콜로이드로부터 t-Se 나노 와이어로의 변형을 조절할 수 있다.

##### 대표도 - 도1





이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호	2008-8-0495, 2008-8-0088
부처명	지식경제부, 교육과학기술부
연구사업명	IT 신성장 동력 핵심 기술 개발, 우수연구센터(SRCERC)
연구과제명 센터/2-4세부	나노선 및 나노튜브를 이용한 단일나노 환경 센서 개발, ERC/패턴 집적형 능동 폴리머 소재
주관기관	연세대학교산학협력단
연구기간	2008년 03월 01일~2009년 02월 28일, 2008년 03월 01일~2009년 02월 28일

---



## 특허청구의 범위

### 청구항 1

기판 상에서 나노 와이어를 성장시키는 방법으로서,

(A) 상기 기판의 적어도 일부를 친수성 표면으로 처리하는 단계와,

(B) VI족 콜로이드 또는 전구체를 상기 기판의 표면에 적하하여 분산시키는 단계와,

(C) 상기 기판을 가열하여 상기 콜로이드 또는 전구체를 상기 기판의 친수성 표면에서 나노 와이어 형태로 수평 성장시키는 단계

를 포함하는 것을 특징으로 하는 기판 상에서 나노 와이어를 성장시키는 방법.

### 청구항 2

청구항 1에 있어서, 상기 수평 성장하는 나노 와이어를 더욱 가열하여 화학적으로 상호 연결된 네트워크를 형성하는 단계를 더 포함하는 것을 특징으로 하는 기판 상에서 나노 와이어를 성장시키는 방법.

### 청구항 3

청구항 2에 있어서, 상기 VI족 콜로이드는 Te 또는 Se 콜로이드인 것을 특징으로 하는 기판 상에서 나노 와이어를 성장시키는 방법.

### 청구항 4

청구항 3에 있어서, 상기 VI족 콜로이드는 Se 콜로이드인 것을 특징으로 하는 기판 상에서 나노 와이어를 성장시키는 방법.

### 청구항 5

청구항 4에 있어서, 상기 Se 콜로이드는 상기 (B)의 단계에서 a-Se 콜로이드 형태이고, 상기 (C) 단계에서의 가열 중 t-Se 나노 와이어로 변형되는 것을 특징으로 하는 기판 상에서 나노 와이어를 성장시키는 방법.

### 청구항 6

청구항 5에 있어서, 상기 (C) 단계에서 a-Se 콜로이드는 Ostwald ripening process를 통해 t-Se 나노 와이어로 성장하는 것을 특징으로 하는 기판 상에서 나노 와이어를 성장시키는 방법.

### 청구항 7

청구항 1 내지 청구항 6 중 어느 한 항에 있어서, 상기 (A) 단계에서 상기 기판은 그 적어도 일부가 상기 기판의 용례에 맞는 원하는 패턴의 형태로 친수성 표면 처리되는 것을 특징으로 하는 기판 상에서 나노 와이어를 성장시키는 방법.

### 청구항 8

청구항 7에 있어서, 상기 (A) 단계에서 상기 기판은 그 적어도 일부가 (A-1) 트리클로로에틸렌, 아세톤 및 이소프로필알코올에 의해 연속적으로 세정 처리되거나, (A-2) 산소 플라즈마에 의해 처리되거나, (A-3) 아미노프로필트리에톡시실란(aminopropyltriethoxysilane; APTES)에 의해 처리되어, 친수성 표면으로 처리되는 것을 특징으로 하는 기판 상에서 나노 와이어를 성장시키는 방법.

### 청구항 9

청구항 3 내지 청구항 6 중 어느 한 항에 있어서, 상기 (C)의 단계에 있어서 상기 기판은 상기 Se의 유리 전이점(Tg)과 100℃ 사이의 온도에서 가열되는 것을 특징으로 하는 기판 상에서 나노 와이어를 성장시키는 방법.

### 청구항 10

청구항 9에 있어서, 상기 (C)의 단계에 있어서 상기 기판은 40~70℃ 범위의 온도에서 가열되는 것을 특징으로



하는 기판 상에서 나노 와이어를 성장시키는 방법.

#### 청구항 11

나노 와이어에 의해 상호 연결되는 적어도 두 개의 전극을 포함하는 전자 소자를 제조하는 방법으로서,

- (a) 적어도 일부가 친수성 표면으로 처리된 기판을 제공하는 단계와,
- (b) Te 또는 Se 콜로이드를 상기 기판의 표면에 적하하여 분산시키는 단계와,
- (c) 상기 기판을 가열하여 상기 콜로이드를 상기 기판의 친수성 표면에서 나노 와이어 형태로 수평 성장시켜, 화학적으로 상호 연결된 네트워크를 형성하는 단계와,
- (d) 상기 네트워크 형태로 상호 연결된 나노 와이어 위에 상기 전극을 형성하여, 상기 나노 와이어를 통해 전극들을 전기적으로 상호 접속하는 단계

를 포함하는 것을 특징으로 하는 전자 소자 제조 방법.

#### 청구항 12

청구항 11에 있어서, 상기 콜로이드는 Se 콜로이드인 것을 특징으로 하는 전자 소자 제조 방법.

#### 청구항 13

청구항 12에 있어서, 상기 Se 콜로이드는 상기 (b)의 단계에서 a-Se 콜로이드 형태이고, 상기 (c) 단계에서의 가열 중 t-Se 나노 와이어로 변형되는 것을 특징으로 하는 전자 소자 제조 방법.

#### 청구항 14

청구항 13에 있어서, 상기 (c) 단계에서 a-Se 콜로이드는 Ostwald ripening process를 통해 t-Se 나노 와이어로 성장하는 것을 특징으로 하는 전자 소자 제조 방법.

#### 청구항 15

청구항 11 내지 청구항 14 중 어느 한 항에 있어서, 상기 (a) 단계에서 상기 기판은 그 적어도 일부가 상기 전자 소자의 용례에 맞는 원하는 패턴의 형태로 친수성 표면 처리되는 것을 특징으로 하는 전자 소자 제조 방법.

#### 청구항 16

청구항 15에 있어서, 상기 (a) 단계에서 상기 기판은 그 적어도 일부가 (a-1) 트리클로로에틸렌, 아세톤 및 이소프로필알코올에 의해 연속적으로 세정 처리되거나, (a-2) 산소 플라즈마에 의해 처리되거나, 또는 (a-3) 아미노프로필트리에톡시실란(aminopropyltriethoxysilane; APTES)에 의해 처리되어, 친수성 표면으로 처리되는 것을 특징으로 하는 전자 소자 제조 방법.

#### 청구항 17

청구항 11 내지 청구항 14 중 어느 한 항에 있어서, 상기 (c)의 단계에 있어서 상기 기판은 상기 Se의 유리 전이점(Tg)과 100℃ 사이의 온도에서 가열되는 것을 특징으로 하는 전자 소자 제조 방법.

#### 청구항 18

청구항 17에 있어서, 상기 (c)의 단계에 있어서 상기 기판은 40~70℃ 범위의 온도에서 가열되는 것을 특징으로 하는 전자 소자 제조 방법.

#### 청구항 19

청구항 11 내지 청구항 14 중 어느 한 항에 있어서, 상기 (d) 단계 전에 상기 나노 와이어를 Ag, Cd 또는 Pb를 이용하여 Ag<sub>2</sub>Se, CdSe 또는 PbSe로 화학적으로 변환시키는 단계를 더 포함하는 것을 특징으로 하는 전자 소자 제조 방법.

#### 청구항 20



청구항 19에 있어서, 상기 화학적으로 변환된  $\text{Ag}_2\text{Se}$ ,  $\text{CdSe}$  또는  $\text{PbSe}$ 에 대하여 화학적 치환 과정을 수행하는 단계를 더 포함하는 것을 특징으로 하는 전자 소자 제조 방법.

## 청구항 21

청구항 20에 있어서, 상기 화학적으로 변환된  $\text{Ag}_2\text{Se}$ 를 상기 화학적 치환 과정을 통해  $\text{Ag}_2\text{Te}$ 으로 변화시키는 것을 특징으로 하는 전자 소자 제조 방법.

## 명세서

### 발명의 상세한 설명

#### 기술 분야

[0001] 본 발명은 기관 상에서 나노 와이어를 성장시키는 방법에 관한 것으로서, 보다 구체적으로는 고비용, 저효율의 고온 증착 공정을 이용하는 일이 없이 나노 와이어를 기관 상에서 성장시킬 수 있는 방법에 관한 것이다.

#### 배경 기술

[0002] 종래부터 산화물은 절연체 또는 유전체로서 다양한 전자 소자에 이용되어 왔다. 특히, 최근 들어 산화아연과 같은 반도체 산화물의 적용이 널리 연구되고 있으며, 이에 따라 반도체 산화물 박막 기술 또한 활발히 연구되고 있다.

[0003] 한편, 최근 나노크기 수준의 극미세 영역에서 새로운 양자 효과와 우수한 특성이 발견됨에 따라, 다양한 나노소재의 제조뿐만 아니라 이를 이용한 나노 소자의 연구가 전세계적으로 주목을 받고 있다.

[0004] 그러나, 나노미터 수준의 극미세 영역을 제어하여 나노 소자를 만드는 것은 산화물 박막 형성과 같은 기존의 반도체 공정 기술과 비교하여, 극히 복잡하고 어려울 뿐만 아니라 제조 공정, 소요 시간 등도 많이 소요되기 때문에, 나노 소재를 이용한 나노 소자의 대량 생산 및 다른 전자 소자로의 응용에도 큰 걸림돌이 되고 있는 것이 현재의 실정이다.

[0005] 한편, 나노 와이어는 나노입자 또는 벌크 고체로부터는 얻을 수 없는 매력적인 성질 및 독특한 용례로 인해 많은 관심을 받아오고 있다. 나노 와이어의 디바이스 수준의 애플리케이션은 이들 나노 와이어를 고도로 재생 가능한 방식으로 평탄한 표면에 위치시키는 기술에 크게 의존한다. 공기-물 계면에서 그리고 전기장의 존재 하에서, 마이크로 유체 채널에서의 자가 조립(self-assembly)을 통해 미리 제조한 나노 와이어를 2차원으로 정렬하는 것은 이러한 위치 설정의 주요 관심사가 되었다. 다른 접근법은 고체 기관 상에서 평행한 방향으로 나노 와이어를 현장(in-situ) 성장시키는 것이다. 지금까지, 현장 위치 설정에 관한 모든 연구는 기상 증착을 통해 수행되었는데, 이는 고수율의 생산을 제한하는 요인으로 작용하고 있다.

[0006] 실용적인 관점에 있어서, 용액 기반 프로세스 중 나노 와이어를 평면 내 성장(in-plane growth)시키는 것은 공기 중 저온에서 고체 기관에서 수행될 수 있다면 가장 바람직하다. 고유의 우선 성장 방향을 갖고 있는 재료들이 이러한 개념에 적당한 후보일 수 있다. Se, Te과 같은 칼코겐(chalcogens)은 이방성 성장(anisotropic growth)을 하여, 효과적으로 나노 와이어를 생성시키는 것으로 알려져 있다. 이들 칼코겐은 압전기(piezoelectricity), 광전도도(photoconductivity), 열전도도(thermoconductivity), 비선형 광학적 응답성(nonlinear optical responses)과 같은 독특한 물리적 성질 때문에 오랫동안 관심을 받아 왔다. 이들 칼코겐은 박막 트랜지스터(TFT)용으로 제안된 최초의 재료이었다. 벌크 칼코겐 화합물 반도체(bulk chalcogenide semiconductor)의 전자 이동도는 매우 높은 것으로 알려져 있다.  $\text{CdSe}$  및  $\text{CdS}$ 의 홀 이동도(Hall mobility) 및 장 효과 이동도(field effect mobility)는 모두 Si보다 크다.  $\text{Ag}_2\text{Se}$ 의 홀 이동도는 실온에서  $200 \text{ cm}^2 \text{ V}^{-1} \text{ s}^{-1}$ 인 것으로 보고되었는데, 이는 단결정 Si의 홀 이동도에 필적하는 것이다. 이러한 높은 전하 이동도는 실리콘 기반 트랜지스터를 대체할 재료 후보로서의 좋은 가능성을 제공한다.

[0007] 한편, 기관 상에서 나노 막대를 성장시킨 후 산화물 반도체 박막을 증착시키는 기술 등 나노 소자로의 응용을 위한 기술이 제안되고도 있으나, 이들은 필연적으로 고온 증착과 같은 고비용, 저효율의 공정을 수반하고 있다. 또한, 나노 막대를 기관 상에서 수직으로 성장시키고 있으나, 구체적으로 나노 막대를 어떻게 성장시킬 수 있는지에 대한 방법은 구체적으로 제시하지 못하고 있다. 즉, 수직으로 성장된 나노 막대들을 다시 수평으로 배향



시켜야 원하는 용례에 적용할 수가 있는데, 원하는 목적에 맞게 나노 막대들을 수평으로 배향시키고 또 위치 조절을 하는 것은 현실적으로 불가능하여, 상기와 같은 방법은 실용화하기가 곤란하다. 또한, 나노 막대들이 수직 방향으로 성장되고, 이들은 서로 이격되어 있어서, 이들을 물리적으로 서로 연결하여 사용해야 하는데, 그 연결점에서는 물성이 달라져, 나노 막대를 통한 전하의 이동이 연결점에서 변하게 되는 문제점이 있다.

## 발명의 내용

### 해결 하고자하는 과제

- [0008] 본 발명은 상기한 종래 기술에서 나타나는 문제점을 해결하기 위한 것으로서, 그 한 가지 목적은 고온 증착 공정을 이용하지 않으면서도 상온에서 나노 와이어를 성장시킬 수 있는 기판 상에서의 나노 와이어 성장 방법을 제공하는 것이다.
- [0009] 본 발명의 다른 목적은 나노 와이어를 전체적으로 수직 방향이 아닌 수평 방향으로 성장하도록 하여, 전자 소자의 응용을 단순화하고, 플렉서블 디스플레이와 같은 전자 소자에 이용할 수 있도록 해주는 기판 상에서의 나노 와이어 성장 방법을 제공하는 것이다.
- [0010] 본 발명의 또 다른 목적은 기판 상에서 나노 입자들을 수평 방향으로 성장시켜 나노 와이어들이 화학적으로 네트워크되어, 나노 와이어들을 통한 전하의 이동 성질이 변화되지 않는 기판 상에서의 나노 와이어 성장 방법을 제공하는 것이다.
- [0011] 본 발명의 또 다른 목적은 수평으로 성장하여 화학적으로 결합되어 있는 나노 와이어를 이용하여 적어도 두 개의 전극을 포함하는 전자 소자를 제조하는 방법을 제공하는 것이다.

### 과제 해결수단

- [0012] 상기 목적을 달성하기 위하여, 본 발명에 따라서 기판 상에서 나노 와이어를 성장시키는 방법이 제공되는데, 이 방법은 (A) 상기 기판의 적어도 일부를 친수성 표면으로 처리하는 단계와, (B) VI족 콜로이드 또는 전구체를 상기 기판의 표면에 적하하여 분산시키는 단계와, (C) 상기 기판을 가열하여 상기 콜로이드 또는 전구체를 상기 기판의 친수성 표면에서 나노 와이어 형태로 수평 성장시키는 단계를 포함하는 것을 특징으로 한다.
- [0013] 한 가지 실시예에 있어서, 상기 방법은 상기 수평 성장하는 나노 와이어를 더욱 가열하여 화학적으로 상호 연결된 네트워크를 형성하는 단계를 더 포함할 수 있다.
- [0014] 한 가지 실시예에 있어서, 상기 VI족 콜로이드는 Te 또는 Se 콜로이드일 수 있고, 바람직하게는 Se 콜로이드이다. 이 경우, 상기 Se 콜로이드는 상기 (B)의 단계에서 a-Se 콜로이드 형태이고, 상기 (C) 단계에서의 가열 중 t-Se 나노 와이어로 변형되고, 상기 (C) 단계에서 a-Se 콜로이드는 Ostwald ripening process를 통해 t-Se 나노 와이어로 성장한다.
- [0015] 한 가지 실시예에 있어서, 상기 (A) 단계에서 상기 기판은 그 적어도 일부가 상기 기판의 용례에 맞는 원하는 패턴의 형태로 친수성 표면 처리될 수 있다.
- [0016] 한 가지 실시예에 있어서, 상기 (A) 단계에서 상기 기판은 그 적어도 일부가 (A-1) 트리클로로에틸렌, 아세톤 및 이소프로필알코올에 의해 연속적으로 세정 처리되거나, (A-2) 산소 플라즈마에 의해 처리되거나, (A-3) 아미노프로필트리에톡시실란(aminopropyltriethoxysilane; APTES)에 의해 처리되어, 친수성 표면으로 처리될 수 있다.
- [0017] 한 가지 실시예에 있어서, 상기 (C)의 단계에 있어서 상기 기판은 상기 Se의 유리 전이점(Tg)과 100℃ 사이의 온도에서 가열될 수 있고, 바람직하게는 40~70℃ 범위의 온도에서 가열될 수 있다.
- [0018] 본 발명의 다른 양태에 따라서, 나노 와이어에 의해 상호 연결되는 적어도 두 개의 전극을 포함하는 전자 소자를 제조하는 방법이 제공되는데, 상기 방법은 (a) 적어도 일부가 친수성 표면으로 처리된 기판을 제공하는 단계와, (b) Te 또는 Se 콜로이드를 상기 기판의 표면에 적하하여 분산시키는 단계와, (c) 상기 기판을 가열하여 상기 콜로이드를 상기 기판의 친수성 표면에서 나노 와이어 형태로 수평 성장시켜, 화학적으로 상호 연결된 네트워크를 형성하는 단계와, (d) 상기 네트워크 형태로 상호 연결된 나노 와이어 위에 상기 전극을 형성하여, 상기 나노 와이어를 통해 전극들을 전기적으로 상호 접속하는 단계를 포함하는 것을 특징으로 한다.
- [0019] 한 가지 실시예에 있어서, 상기 콜로이드는 Se 콜로이드일 수 있고, 이 경우 상기 Se 콜로이드는 상기 (b)의 단



계에서 a-Se 콜로이드 형태이고, 상기 (c) 단계에서의 가열 중 t-Se 나노 와이어로 변형되며, 상기 (c) 단계에서 a-Se 콜로이드는 Ostwald ripening process를 통해 t-Se 나노 와이어로 성장한다.

[0020] 한 가지 실시예에 있어서, 상기 (a) 단계에서 상기 기판은 그 적어도 일부가 상기 전자 소자의 용례에 맞는 원하는 패턴의 형태로 친수성 표면 처리될 수 있다.

[0021] 한 가지 실시예에 있어서, 상기 (a) 단계에서 상기 기판은 그 적어도 일부가 (a-1) 트리클로로에틸렌, 아세톤 및 이소프로필알코올에 의해 연속적으로 세정 처리되거나, (a-2) 산소 플라즈마에 의해 처리되거나, 또는 (a-3) 아미노프로필트리에톡시실란(aminopropyltriethoxysilane; APTES)에 의해 처리되어, 친수성 표면으로 처리될 수 있다.

[0022] 한 가지 실시예에 있어서, 상기 방법은 상기 (d) 단계 전에 상기 나노 와이어를 Ag, Cd 또는 Pb를 이용하여  $Ag_2Se$ , CdSe 또는 PbSe로 화학적으로 변환시키는 단계를 더 포함할 수 있다.

[0023] 한 가지 실시예에 있어서, 상기 방법은 상기 화학적으로 변환된  $Ag_2Se$ , CdSe 또는 PbSe에 대하여 화학적 치환 과정을 수행하는 단계를 더 포함할 수 있다.

[0024] 한 가지 실시예에 있어서, 상기 화학적으로 변환된  $Ag_2Se$ 를 상기 화학적 치환 과정을 통해  $Ag_2Te$ 으로 변화시킬 수 있다.

### 효 과

[0025] 본 발명에 따르면, a-Se 콜로이드가 친수성 표면 처리된 기판 상에서 수직 방향이 아닌 수평 방향으로 나노 와이어 형태로 성장하고, 이들 나노 와이어가 화학적으로 결합되어 네트워크를 형성한다. 즉 기판의 표면 에너지를 제어하여, 기판 상에서 용례에 맞는 다양한 패턴으로 나노 와이어를 성장시킬 수가 있다. 이때, 고비용, 저효율의 고온 증착프로세스를 이용하지 않고도, 상온에서 손쉽게 나노 와이어를 수평 성장시킬 수 있다. 또한, 기판 상에서 수평 방향으로 성장된 나노 와이어들이 화학적으로 네트워크되어, 나노 와이어들을 통한 전하의 이동 성질이 변화되지 않으므로, 전하의 이동을 정밀하게 제어할 수가 있다.

[0026] 또한, 본 발명에 따라 제조되는 수평 배향의 나노 와이어들은 쉽게 다른 화합물 반도체로 변화시킬 수 있어, 다양한 수평 배향 네트워크의 반도체 구조를 실현할 수가 있다.

### 발명의 실시를 위한 구체적인 내용

[0027] 이하에서는, 본 발명의 바람직한 실시예를 참조하여 본 발명을 더욱 상세하게 설명한다. 하기의 실시예는 본 발명의 이해를 돕기 위하여 제공되는 것으로서, 본 발명을 제한하는 것으로 해석되어서는 안된다.

[0028] 본 발명자는 고온의 증착 공정 없이 상온의 기판 상에서 나노 와이어를 수평 성장시키는 방법을 연구하였으며, 이러한 연구 과정에 있어서 기판의 표면 에너지의 제어를 통해 나노 와이어의 수평 성장을 효과적으로 제어할 수 있다는 사실을 찾아내어 본 발명을 완성하기에 이르렀다.

[0029] 도 1에는 본 발명의 한 가지 실시예에 따라서, 표면 조건에 따라서 a-Se 콜로이드(amorphous Se colloids)가 t-Se (trigonal Se) 나노와이어로 변형되는 양태가 개략적으로 도시되어 있다. 후술하는 바와 같이, 기판의 표면 조건에 따라서 a-Se 콜로이드는 기판 상에서 다른 형태로 성장한다. 즉, 친수성의 기판 표면에서는 a-Se 콜로이드가 t-Se 나노 와이어로 평면 내 수평 성장하며, 소수성의 기판 표면에서는 a-Se가 랜덤하게 배향된 나노와이어로 성장한다. 이를 이용하여, 기판의 표면에 원하는 형태의 다양한 패턴을 구현할 수 있어, 전자 소자에 응용 가능하다. 이하에서는, 구체적인 실험예를 통해 본 발명의 원리에 대해 더욱 구체적으로 설명한다.

[0030] 한편, 이하의 실험예에 있어서, 나노 와이어 형태로 수평 성장시키기 위한 것으로서 Se를 이용하고 있지만, 본 발명은 이에 한정되지 않는다. 즉, 종래의 증착 공정과 같은 고비용, 저효율의 프로세스를 이용하지 않으면서, 상온과 같은 비교적 저온에서의 프로세스(예컨대, 40~70℃)가 가능하고, 또 단분자 형태로 용액 공정을 이용하여 기판에 콜로이드 형태로 분산 가능한 물질이면 본 발명에 이용될 수 있다. 본 발명자의 연구에 따르면, 주기율표에서 VI족 원소들이 이러한 조건을 충족시킬 수 있고, 특히 Se 또는 Te은 다른 물질로 용이하게 변환/치환될 수 있어 본 발명에 사용하기에 적합하다는 것을 발견하였다.

[0031] 보다 구체적으로 설명하면, Se의 경우 단분자 유기 화합물로서, 그 나노입자는 물과 같은 용매에 쉽게 분산시킬 수 있고, 상온 프로세스를 통해 나노 와이어로 성장시킬 수가 있다. 한편, Se는 다른 물질로 쉽게 변환/치환될



수 있어, 본 발명이 궁극적으로 이용하고자 하는 분야, 즉 플렉서블 디스플레이와 같은 전자 소자에 응용할 수가 있다. 즉, Se 나노 와이어의 경우 그 자체로는 플렉서블 디스플레이와 같은 전자 소자에서 전극을 상호 연결하는 도전으로서 이용하기가 어려울 수 있다. 즉 Se는 전기 이동도가 높지 않으므로, 예컨대 트랜지스터를 구성하는 반도체로는 사용하기가 쉽지 않고, 따라서 이를 다른 반도체 물질로 변환/치환하는 것이 바람직한데, 본 발명자의 연구에 따르면 Se는 적절한 반응 조건 하에서  $\text{Ag}_2\text{Se}$ ,  $\text{CdSe}$ ,  $\text{PbSe}$ 와 같은 물질로 쉽게 화학적으로 변환될 수 있고, 또  $\text{Ag}_2\text{Se}$ 는  $\text{Ag}_2\text{Te}$ 과 같은 물질로 쉽게 화학적으로 치환될 수 있는 바, 이들 물질은 전자 소자에 널리 이용되는 물질이다. 그러나, 이들 반도체 물질은 나노 와이어의 형태로 기판 상에서 구현하기가 어렵고, 따라서 본 발명에서는 Se를 상기한 과정을 통해 나노 와이어로 성장시킨 후, 이 나노 와이어를 상기 물질로 치환/변환하여 전자 소자에 사용할 수 있도록 한다. 한편, 어떤 물질을 다른 물질로 화학적으로 치환 및 변환시키는 방법 및 메커니즘 그 자체는 이미 공지되어 있으므로, 그 상세한 설명은 생략한다(예컨대, Unyong Jeong 등의 "Chemical transformation: a powerful route to metal chalcogenide nanowires", *J. Mater. Chem.*, 2006, 16, 3893-3897 참조: 이 문헌은 그 전체가 본 명세서에 참고로 함체된다).

[0032] 한편, 청구범위를 비롯한 발명의 상세한 설명에 있어서, "수직 방향"으로의 나노 입자의 성장이라는 것은 기판과 평행한 방향이 아니라, 기판과 일정한 각도를 두고 성장하는 것을 의미하고, "수평 방향"으로의 나노 입자의 성장이라는 것은 상기와 같은 "수직 방향"으로의 성장이 실질적으로 없이, 실질상 기판과 평행한 방향으로만 기판 상에서 성장하는 것을 의미한다. 따라서, "수직 방향"으로의 나노 입자의 성장은 3차원적 성장, "수평 방향"으로의 나노 입자의 성장은 1차원 내지는 2차원적 성장이라 말할 수 있다.

### [0033] 실험예

[0034] 본 발명자는 먼저 셀렌산(selenious acid), 히드라진 모노하이드레이트(hydrazine monohydrate), 폴리(비닐 피롤리돈)(PVP, Mw=55,000), 이소프로필알코올(isopropylalcohol), 트리클로에틸렌(trichloroethylene), 아세톤을 준비하였으며, 이들은 모두 Aldrich로부터 얻었다. 에틸렌 글리콜은 Fluka로부터 얻었다. 또한, 아미노프로필 트리에톡시실란(aminopropyltriethoxysilane; APTES), 옥타데실트리클로로실란(octadecyltrichlorosilane; OTS), 트리클로로(퍼플루오로옥틸)실란(trichloro(perfluorooctyl)silane)과 같은 자가 조립된 모노레이어의 실란 화합물은 Aldrich로부터 얻었다. 이들 모든 화합물은 얻은 그대로 사용하였다.

[0035] 셀렌산( $\text{H}_2\text{SeO}_3$ , 99.99%)을 에틸렌 글리콜(EG, 99.9%) 중에서 히드라진 하이드레이트( $\text{N}_2\text{H}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ , 55%)로 환원시켜 단분산(monodisperse) a-Se 콜로이드를 제조하였다. 통상의 프로세스에 있어서, 에틸렌 글리콜 중의 셀렌산(4.2ml, 1M) 용액을, 50ml 둥근 바닥 플라스크 내에서, 자장 하에서, 에틸렌 글리콜 중의 히드라진 용액(10ml, 3M)에 적하 방식으로(dropwise) 첨가하였다. 잔여 히드라진 및 에틸렌 글리콜은 물속에서의 3회의 원심 세정에 의해 제거한 다음에, 물 속에 다시 분산시켰다.

[0036] 트리클로에틸렌, 아세톤 및 이소프로필알코올에 의한 연속적인 린스 처리에 의해 Si 웨이퍼를 세정하였다. 후술하는 t-Se 나노 와이어의 성장에 대한 기판의 표면 에너지의 영향은, 웨이퍼를 산소 플라즈마에 노출시키거나 또는 APTES, OTS 및 트리클로로(퍼플루오로옥틸)실란으로 이루어진 자가 조립된 모노레이어를 형성하여 조사하였다. 산소 플라즈마 처리는 30 sccm 산소 공급 및  $5 \times 10^{-5}$  Torr에서 60초 동안 수행하였다. 플라즈마의 파워는 80W였다. 자가 조립된 레이어의 성장을 위해 상기 예비 세정한 웨이퍼를 사용하였다. 아민 기능화된 표면(amine functionalized surfaces)을 위하여, 기판을 실온에서 1 시간 동안 APTES 0.1M 용액에 담근 다음에 물로 세정하였다. OTS 처리는 0.1M 클로로포름 용액에서 2 시간 동안 수행하였고, 클로로포름으로 세정하였다. 트리클로로(퍼플루오로옥틸)실란 적하물을 포함하는 밀봉된 용기 내에 상기 예비-세정된 웨이퍼를 배치함으로써, 증기상으로부터 플루오로실란 표면을 준비하였다. 상기 예비-세정된 표면, 플라즈마-처리된 표면 및 APTES 자가 조립된 레이어는 접촉각이 각각  $27^\circ$ ,  $5^\circ$  미만,  $44^\circ$  로서 친수성이었다. OTS 및 트리클로로(퍼플루오로옥틸)실란으로 덮인 웨이퍼들은 접촉각이 각각  $98^\circ$  및  $107^\circ$  로서, 소수성이었다.

[0037] 한편, 청구의 범위 및 발명의 상세한 설명 전체에 걸쳐서 사용되는 용어, 즉 "친수성" 및 "소수성"이라는 용어는 당업계에서 이미 널리 알려진 용어이다. 어떤 용액 적하물과 표면과의 접촉각을 통해 그 용액에 대해 표면이 친수성인지 아니면 소수성인지를 판단할 수가 있다. 즉, 접촉각이 작다는 것은 용액이 표면에 많이 접촉한다는 것으로서, 이는 그 표면이 용액에 대해 친수성이라는 것을 의미한다. 이와 같이, 용액과의 접촉각을 통해 어떤 표면이 친수성인지 혹은 소수성인지를 판단하는 것은 이미 널리 알려진 개념이므로, 추가의 상세한 설명은 생략한다.

[0038] a-Se 콜로이드의 에탄올 서스펜션 또는 물 서스펜션을 기판의 표면에 적하한 다음에 공기 중에서 건조시켰다.



이들 샘플을 70℃ 또는 100℃로 온도가 설정된 작은 가열 블록 내에 배치하였다. a-Se 콜로이드의 시간적 변화를 가열 블록의 상단에 있는 유리 창을 통해 광학 현미경(Olympus, BX51)에 의해 기록하였다.

- [0039] 5kV의 가속 전압에서 JEOL JSM-6700F 현미경 상에서 주사 전자 현미경(SEM) 촬영을 수행하였다. 80kV에서 동작하는 JEOL 현미경(JEM 1200 EXII)을 이용하여 투과 전자 현미경(TEM) 이미지 및 전자 회절 이미지를 얻었다.
- [0040] 상기한 바와 같이, 도 1은 a-Se 콜로이드의 t-Se 나노 와이어로의 변형에 미치는 표면 효과를 도식적으로 보여준다. a-Se 콜로이드가 Se의 유리 전이점( $T_g$ , ~31℃)보다 높은 온도에서 어닐링되는 경우, 이들 콜로이드는 t-Se로 결정화되는데, 왜냐하면 t-Se는 비정질 상태보다 열역학적으로 더 안정하기 때문이다. t-Se 결정 성장의 고유의 비등방성 때문에, 결과적으로 t-Se 나노 와이어가 얻어진다.
- [0041] 도 1은 a-Se 콜로이드가 친수성 기판의 표면을 따라 현장 성장으로만 단결정 나노 와이어로 변형하는 것을 보여준다. 대조적으로, a-Se 콜로이드는 소수성 기판 상에서는 랜덤한 방향으로 t-Se 나노 와이어로 변형한다는 것을 알 수 있다. 이러한 과정에서 어닐링 온도는 Se의 비교적 낮은 비등점(~250℃) 때문에, 낮게 유지되어야 한다. Se 원자들은 그 비등점보다 훨씬 더 낮은 온도(~100℃)에서조차 비정질 상태에서부터 증발할 수 있다. Se의  $T_g$ 와 100℃ 사이, 예컨대 40-70℃에서 a-Se 콜로이드를 어닐링하면, Se 원자들의 활발한 증발을 효과적으로 억제할 수 있다. 본 발명자의 관찰에 따르면, 소량의 Se 원자들이 여전히 이러한 낮은 온도에서 증발할 수 있지만, 증발된 Se 원자들은 콜로이드성 표면 위로 재빨리 다시 재적층된다(re-deposited).
- [0042] 본 발명자의 관찰에 따르면, Se 원자와의 화학적 친화도(chemical affinity)가 좋은 친수성 표면은 낮은 온도에서, 기판과 a-Se 콜로이드 사이의 계면에서 t-Se의 핵생성을 용이하게 할 수 있다. 이러한 핵은 콜로이드체(colloidal body)로부터의 Se 원자들의 대류성 공급(convective supply)을 통해 또한 증발된 Se 원자들의 성장 첨단부(growth tip)로의 적층을 통해 성장할 수 있다. 다른 한편으로, Se와의 화학적 친화도가 나쁜 소수성 표면은 상기 계면에서 핵생성을 방지 내지 방해는 것으로 확인되었다. 핵은 표면에서 또는 Se 콜로이드의 바디 내에서 형성되며, 이들은 랜덤한 방향으로 천천히 성장한다.
- [0043] a-Se 콜로이드의 t-Se로의 변형에 미치는 기판의 표면 에너지의 영향이 도 2에 도시되어 있는데, 도 2는 친수성 기판(A, B) 및 소수성 기판(C, D) 상에서 a-Se 콜로이드로부터 t-Se로의 변형을 보여주는 실험 결과이다.
- [0044] Si 기판은 트리클로로에틸렌, 아세톤 및 이소프로필알코올에 의해 연속적으로 세정 처리하였다(A). 또한, APTES(B), OTS(C) 및 트리클로로(페플루오로옥틸)실란(D)의 자가 조립된 모노레이어에 의해 추가로 변질시켰다(modified). 에탄올 중의 a-Se(직경 300 nm) 콜로이드 서스펜션 적하물을 기판 상에서 공기 중에서 건조시켰다. 상기 샘플들을 70℃로 온도가 설정된 가열 블록 내에 넣었다. 상기 세정된 표면 및 APTES 표면은 접촉각이 각각 27° 및 44° 로서, 친수성이었다. 이들 두 표면 상에서, a-Se 콜로이드는 기판의 표면을 따라 성장하는 t-Se 나노 와이어로 변형되었다. 각 나노 와이어의 성장은, 나노 와이어들이 다른 와이어를 만나 이들 나노 와이어 사이에 화학적 결합을 형성하였을 때 멈추었다. 본 발명자들은 또한 본 명세서에서 구체적으로 도시하지는 않았지만, 접촉각이 5° 미만인 플라즈마 처리된 웨이퍼 상에서 t-Se 나노 와이어의 형성을 관찰하였다. 이들 3개의 결과는, 친수성 표면 성질은 유기층의 존재에 상관 없이, t-Se 나노 와이어의 평면 내 성장을 가능하게 한다는 것을 보여준다. 표면에 있는 극성기(polar groups)(-OH, -NH<sub>2</sub>)의 산소 및 질소는 무기 원자와의 화학적 친밀도가 좋은데, 이는 a-Se 콜로이드와 기판 사이의 계면에서의 핵생성을 도와준다.
- [0045] 다른 한편으로, OTS 및 페플루오로실란의 자가 조립된 모노레이어를 갖는 소수성 표면은 도 2의 C 및 D에서 볼 수 있는 바와 같이, t-Se 나노 와이어를 랜덤하게 배향시켰다. OTS 처리된 웨이퍼 및 페플루오로실란 처리된 표면의 접촉각은 각각 98° 및 107° 으로서, 소수성이었다.
- [0046] 도 3은 a-Se 콜로이드의 t-Se 나노 와이어로의 시간적 변화를 보여주는 도면으로서, 상기 세정된 실리콘 기판 상에서 a-Se 콜로이드의 나노 와이어로의 변형 메커니즘을 보여준다. 70℃에서 시간이 증가함에 따른 a-Se 콜로이드의 형태상의 변화(morphological change)를 추적하였으며, 이를 A 내지 F의 사진으로 나타내었다(A: 2시간, B: 4시간, C: 6 시간, D: 8시간, E: 13시간, F: 24 시간). 가열 블록의 상단에 있는 유리창을 통해 광학 이미지를 취하였다.
- [0047] 관찰한 바에 따르면, t-Se의 핵생성은 2시간 이내에 일어났다. t-Se 나노 와이어의 형성은 4 시간이 지나자 명확해졌다. 나노 와이어들은 계속 성장하였고, 어닐링 시간이 지남에 따라 더 두꺼워졌다. 핵들은 먼저 a-Se 콜로이드로부터의 Se 원자 공급에 의해 성장하였고, 이들 핵은 더 길어짐에 따라 인접 a-Se 콜로이드로부터 Se를 받아들였다. 이러한 라이프닝 프로세스[Ostwald ripening process]는 상기 성장하고 있는 나노 와이어 둘레의 a-Se 콜로이드가 완전히 소모될 때까지 계속되어, 기판 상에서 나노 와이어의 평면 내 성장을 일으켰다. 상



기 성장은 24 시간이 지나자 완료되었다. 검은 화살표는 나노 와이어의 성장 과정을 모니터링해준다. 나노 와이어 둘레 또는 성장 첨단부 부근의 a-Se 콜로이드는 점진적인 크기 감소를 겪었으며, 최종적으로 사라졌다. 대조적으로, 어떠한 와이어도 핵생성되지 않은 영역 내에 놓인 콜로이드는 어떤 나노 와이어가 상기 영역 내로 침범해 들어올 때까지 변하지 않은 채 남아 있었다. 이러한 관찰 결과는, 나노 와이어의 성장이 오스왈드 라이프닝 프로세스를 통해 이루어지고 있음을 확인시켜 준다. 백색 화살표는 나노 와이어가 다른 a-Se 콜로이드를 만나는 경우 나노 와이어가 분기되는 것을 나타낸다. 성장하는 나노 와이어가 a-Se 콜로이드를 만나는 경우, 이들 나노 와이어는 복수의 핵을 생성하였고, 분기를 형성하였다. 3개의 분기의 형성은 도 3의 E에서 명확히 볼 수 있다. 성장하는 두 나노 와이어의 접촉에 의해, 화학적으로 결합된 정션(chemically connected junction)이 생성되었는데, 점선 원은 성장하는 두 나노 와이어의 화학적 정션 형성을 보여준다(도 3의 F 참조).

[0048] 도 4는 70℃에서 변형된 t-Se 나노 와이어의 화학적 네트워크의 SEM 이미지 및 화학적 정션을 확대한 TEM 이미지이다. 도 4의 A 이미지는 도 3의 F에 도시한 샘플로부터 얻었다.

[0049] 도 4에 나타난 결과는 나노 와이어가 기판의 표면을 따라서만 성장하였다는 것을 보여준다. 나노 와이어는 다른 나노 와이어 또는 다른 콜로이드를 만날때까지 계속 성장하였다. 도 4의 A의 좌측의 삽입 SEM 이미지 및 도 4의 B의 TEM 이미지는 성장하는 두 나노 와이어 사이의 화학적 정션을 명확하게 보여준다. 우측의 삽입 이미지는, 처음의 a-Se 콜로이드의 집합체(aggregate)였던 영역의 확대 이미지이다. 표면을 따라 잘 형성된 나노 와이어 외에도, 상기 집합체의 센터에서 랜덤한 방위의 많은 작은 나노로드(nanorods)가 관찰되었다. 상기 나노로드의 형성은 이러한 큰 초기 집합체에서만 보였다. t-Se이 기판의 바닥에서 성장하고자 하더라도, 모체가 되는 a-Se이 너무 큰 경우에는 a-Se의 가운데 부분에서는 결정화가 일어나고자 하나 기판의 표면을 따라서 성장할 수 없기 때문에 수평방향이 아닌 랜덤한 방향으로 자라게 된다. 이때 t-Se의 성장은 a-Se 바디로부터의 Se 원자들의 확산에 의한 것이다.

[0050] 도 4의 B는 정션 포인트의 TEM 이미지를 보여준다. 각각의 나노 와이어는 [001] 성장 방향을 갖는 trigonal 결정의 잘 형성된 파셋(facets)을 갖고 있었으며, 나노 와이어를 따른 동일한 회절 패턴을 보여주었는데, 이는 나노 와이어들이 단결정이라는 것을 나타낸다. 삽입 이미지의 전자 회절(ED) 패턴은 접속 영역으로부터 얻었다. 상이한 결정 방향으로부터의 두 회절이 혼합되었다는 것은 명백하다. 삽입 이미지 중의 점선은, 도 4의 A의 정션 포인트에서 두 ED 패턴에 의해 만들어진 각도를 나타내기 위하여 추가한 것이다. 삽입된 회절 이미지는 나노 와이어가 약 10° 경사져 있다는 것을 나타내지만, TEM 이미지는 경사각이 약 52° 라는 것을 보여준다. 본 발명자들은 회절 패턴에서의 더 작은 각도는 나노 와이어의 용융(fusion) 중에 Se 원자들의 재배치에 기인한 것으로 추측하였다. Se 원자들은, 나노 와이어가 처음 접촉한 후에, 연결점 둘레의 공간을 점유하도록 이동하여야 한다. 이러한 원자 이동은 상기 연결 전방에서 격자 면(lattice plane)을 기울일 것으로 예상된다.

[0051] 도 4에 나타난 결과를 통해 알 수 있는 바와 같이, 본 발명에 따라서 장시간의 가열을 통해 성장시킨 나노 와이어들은 단순히 물리적으로 결합되는 것이 아니라 화학적으로 결합되어, 전하의 이동을 개선시킨다. 즉, 나노 막대들이 종래와 같이 단순히 물리적으로 결합되어 있는 경우, 예컨대 제1 나노 막대를 통해 이동하는 전하는 두 나노 막대가 결합된 결합점을 통해 제2 나노 막대로 이동하게 되는데, 이들 나노 막대는 물리적으로 결합되어 있어서, 결합점을 통과하는 도중 전하의 이동 속도 등이 변하게 되어, 전하의 이동을 정밀하게 제어할 수가 없다. 그러나, 본 발명에 따르면, 성장시킨 나노 와이어들을 화학적으로 결합시킬 수 있기 때문에, 결합점을 통한 전하의 이동 등은 전혀 변하지 않게 되고, 따라서 전하의 이동을 원하는 용도에 맞춰 정확하게 제어할 수가 있게 된다.

[0052] 상기 나노 와이어의 두께는 100 nm 미만이었다. 본 발명자의 관찰에 따르면, 나노 와이어의 크기는 초기 a-Se 콜로이드의 크기에 의존하지 않았으며, 반면에 콜로이드의 온도 및 개수 밀도(number density)는 나노 와이어의 최종 형태에 영향을 미쳤다. 콜로이드의 개수 밀도를 증가시키면 화학적 정션이 더 많아졌고, 나노 와이어는 더 두꺼워졌다. 밀한 화학적 정션은 나노 와이어 또는 콜로이드 사이의 더 짧은 자유 공간에 기인한다. 성장하는 나노 와이어의 측벽으로의 증대된 재료(Se) 플럭스(flux)는 나노 와이어의 두께를 증가시키는 것으로 보인다. 또한, 본 발명자의 관찰에 따르면, 콜로이드의 개수 밀도가 아주 높아, 기판이 거의 완전히 콜로이드로 덮이는 경우, 70℃에서조차 수직 배향이 발견되었다. 이것은 70℃에서의 주요 성장 메커니즘이 오스왈드 라이프닝 프로세스이지만, 소량의 Se이 증발되어 콜로이드 표면에서 핵에 직접 적층될 수 있다는 것을 의미한다. 그러나, 어닐링 온도가 60℃ 및 50℃인 경우, 본 발명자들은 a-Se 콜로이드의 개수 밀도에 관계없이 어떠한 수직 배향도 관찰할 수 없었다. 한편, 60℃ 및 50℃에서의 완전한 변형은 통상 각각 3일 및 5일 이상이 소요되었다.



[0053] 한편, 100℃에서 기판을 가열하면, 주로 Se 원자들의 증기상 적층을 통해 나노 와이어로의 변형이 이루어졌다. 고온에서의 Se 콜로이드의 상당히 유연한 성질은 콜로이드성 표면에서 수 많은 핵생성을 일으켰다. 증기 적층에 의한 핵의 성장은 도 5에서 볼 수 있는 바와 같이, 기판 상의 모든 방향에서 랜덤하게 배향된 수 많은 나노 와이어를 생성하였다. 더 크게 확대된 삽입 이미지는 임의의 방향으로의 t-Se 나노 와이어의 성장을 명확히 보여준다. 나노 와이어들은 직선이었으며, 이들 나노 와이어 사이에는 화학적 정선이 없었다. 나노 와이어의 두께는 80~150 nm이었다. 70~100℃에서 콜로이드를 어닐링하면, 이들 콜로이드의 변형은 동시에 두 메커니즘을 취하여, 랜덤한 방향뿐 아니라, 평면 내 성장 방향을 갖는 t-Se 나노 와이어를 생성하였다. 더 높은 온도(>130℃)에서 어닐링을 하였더니, 콜로이드는 몇 시간 내에 증발되었고, 본 발명자들은 기판 상에서 나노 와이어를 거의 발견할 수 없었다.

[0054] 상기 간단한 프로세스에서 얻어진 실리콘 기판 상의 t-Se 나노 와이어들은  $Ag_2Se$ ,  $CdSe$ ,  $PbSe$ ,  $Bi_2Se$  등과 같은 다른 칼코겐 화합물로 추가 변형될 수 있다. 이러한 칼코겐 화합물 반도체 나노 와이어의 네트워크 구조는, t-Se 나노 와이어가 폴리머 기판 상에서 성장한다면, 플렉서블 전자 디바이스를 제작하는데에 이용될 수 있다. 카본 나노튜브를 이용하는 플렉서블 디바이스에 대한 현재의 접근법은 펼쳐진 나노튜브 사이의 물리적 접촉에 기반하고 있다. 물리적 접촉 위에서의 나노튜브 사이의 캐리어들의 호핑(hopping)은 단일 카본 나노튜브의 캐리어 이동도보다 약 1000 배 이상 캐리어 이동도를 감소시켜, 카본 나노튜브의 고유의 높은 캐리어 이동도의 활용을 방해한다. 이와는 달리, 칼코겐 화합물 반도체 나노 와이어의 네트워크 구조 중의 화학적 정선은 전하 흐름에 대한 큰 장벽을 형성하지 않고, 각 칼코겐 화합물 나노 와이어의 높은 이동도를 잘 유지할 수 있을 것으로 예상된다.

[0055] 진술한 과정에 후속하여, 통상의 과정에 따라 나노 와이어 상에 2개 이상의 전극을 형성하게 되면, 두 전극이 상기 나노 와이어를 통해 전기적으로 상호 접속되고, 따라서 이를 이용하여 전자 소자, 예컨대 플렉서블 디스플레이를 제조할 수가 있다.

[0056] 이상, 본 발명을 바람직한 실시예를 참조하여 설명하였지만, 본 발명은 상기 실시예에 제한되지 않는다는 것을 이해하여야 한다. 예컨대, 상기 실시예에 있어서, VI 족 원소, 예컨대 Se 나노 입자를 나노 와이어 형태로 수평 성장시키는 것으로 설명하였으나, 나노 입자 대신에 Se 나노 입자의 전구체를 상기한 과정에 따라 나노 와이어 형태로 수평 성장시킬 수도 있으며, 이 역시 본 발명의 범위 내에 속하는 것이다. 후술하는 특허청구범위 내에서 본 발명을 다양하게 수정 및 변형할 수 있으며, 이들은 모두 본 발명의 범위 내에 속하는 것이다. 따라서, 본 발명은 이하의 특허청구범위 및 그 균등물에 의해서만 제한된다.

### 도면의 간단한 설명

[0057] 도 1은 a-Se 콜로이드의 t-Se 나노 와이어로의 변형에 미치는 표면 효과를 도식적으로 보여주는 도면이다.

[0058] 도 2는 친수성 기판(A, B) 및 소수성 기판(C, D) 상에서 a-Se 콜로이드로부터 t-Se로의 변형을 보여주는 실험 결과 이미지이다.

[0059] 도 3은 a-Se 콜로이드의 t-Se 나노 와이어로의 시간적 변화를 보여주는 도면이다.

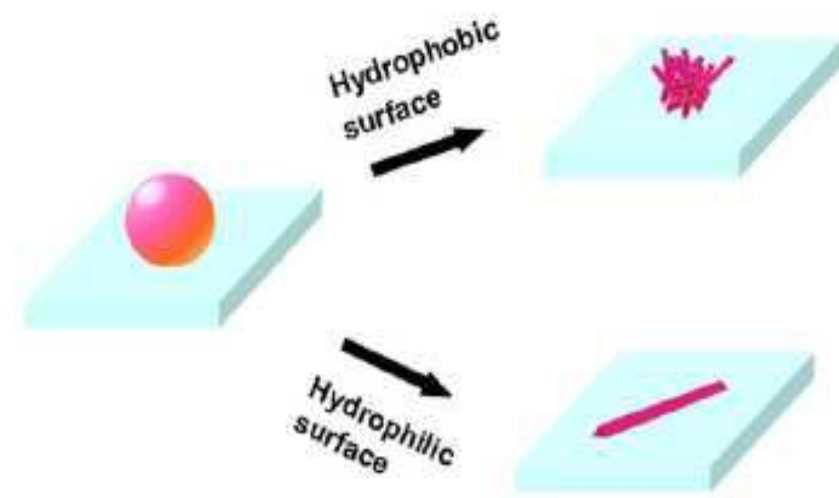
[0060] 도 4는 70℃에서 변형된 t-Se 나노 와이어의 화학적 네트워크의 SEM 이미지 및 화학적 정선을 확대한 TEM 이미지이다.

[0061] 도 5는 랜덤하게 배향되어 성장한 t-Se 나노 와이어를 보여주는 SEM 이미지이다.

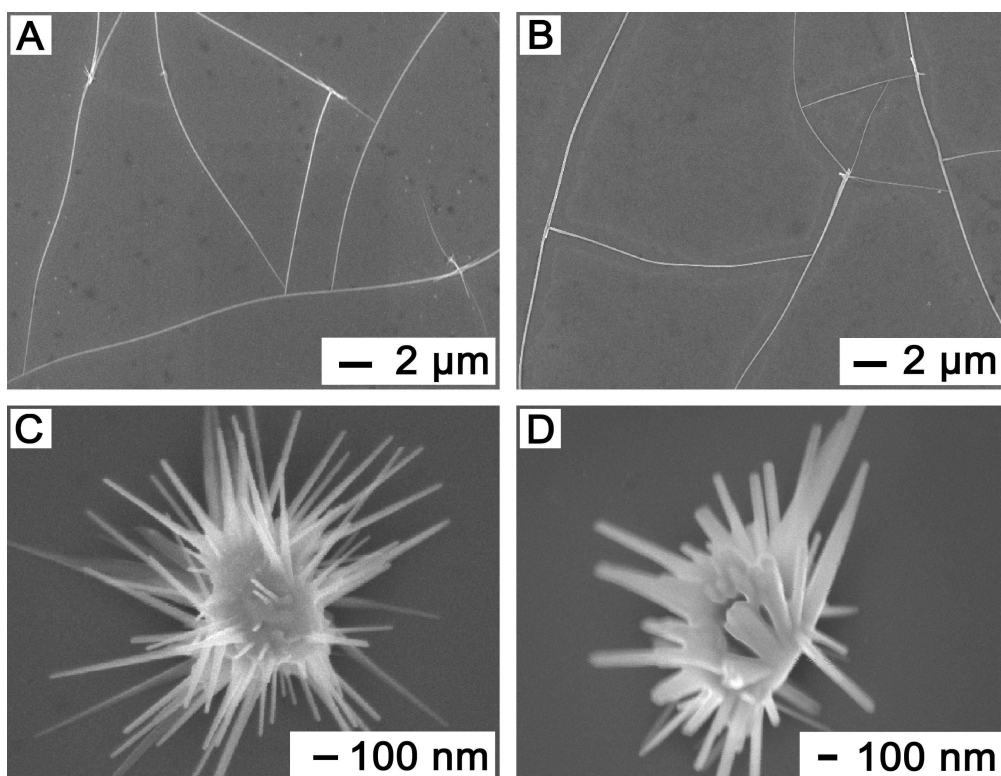


도면

도면1

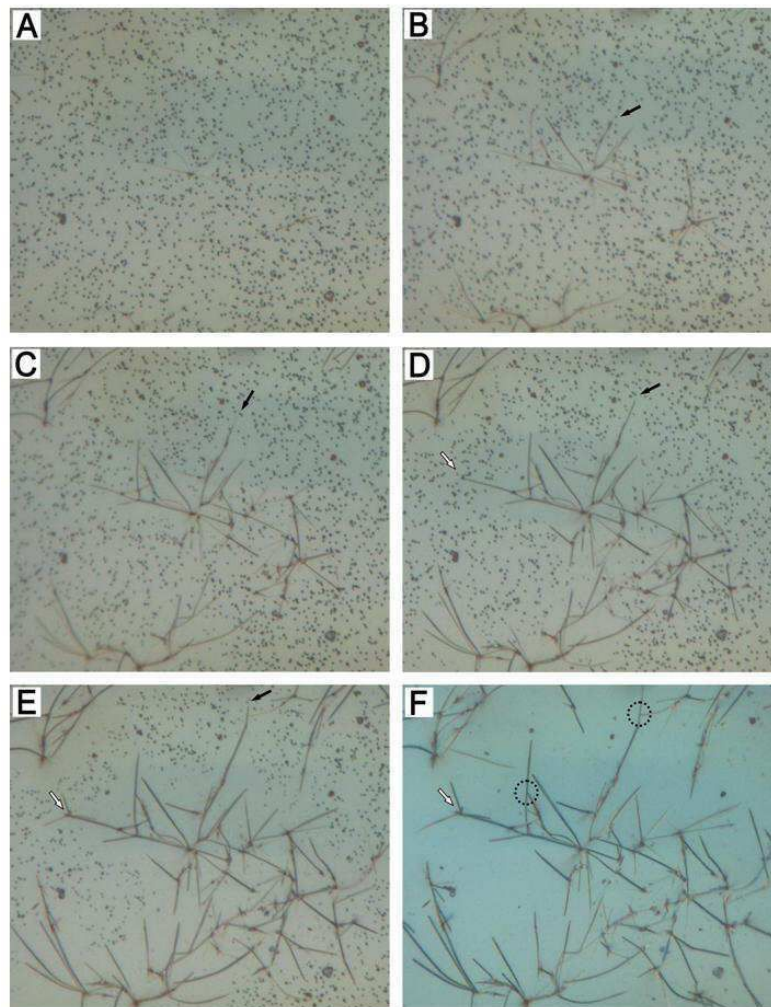


도면2

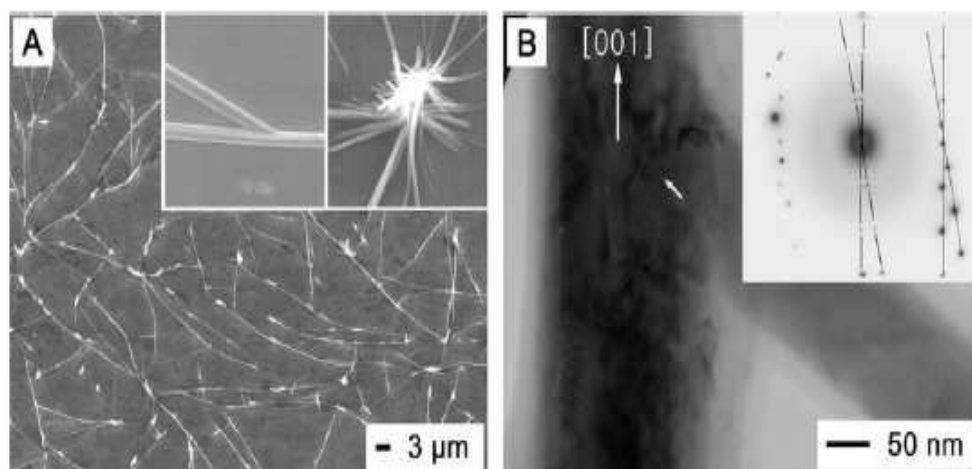




도면3



도면4





도면5

