



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2016-0147005
(43) 공개일자 2016년12월21일

- (51) 국제특허분류(Int. Cl.)
H01L 29/06 (2006.01) B05D 1/20 (2006.01)
H01L 29/20 (2006.01) H01L 29/22 (2006.01)
H01L 31/0352 (2006.01)
- (52) CPC특허분류
H01L 29/0676 (2013.01)
B05D 1/202 (2013.01)
- (21) 출원번호 10-2016-7033152
- (22) 출원일자(국제) 2015년04월28일
심사청구일자 없음
- (85) 번역문제출일자 2016년11월25일
- (86) 국제출원번호 PCT/IB2015/053094
- (87) 국제공개번호 WO 2015/166416
국제공개일자 2015년11월05일
- (30) 우선권주장
1430057-8 2014년04월29일 스웨덴(SE)

- (71) 출원인
솔 발테익스 에이비
스웨덴 라운드 에스이-223 63 세에렌베겐 22
- (72) 발명자
나심 우메르
스웨덴 라운드 에스이-222 63 세에렌베겐 22, 솔 발테익스 에이비내
보르그스트롬 요한
스웨덴 라운드 에스이-222 63 세에렌베겐 22, 솔 발테익스 에이비내
(뒷면에 계속)
- (74) 대리인
서장찬, 박병석

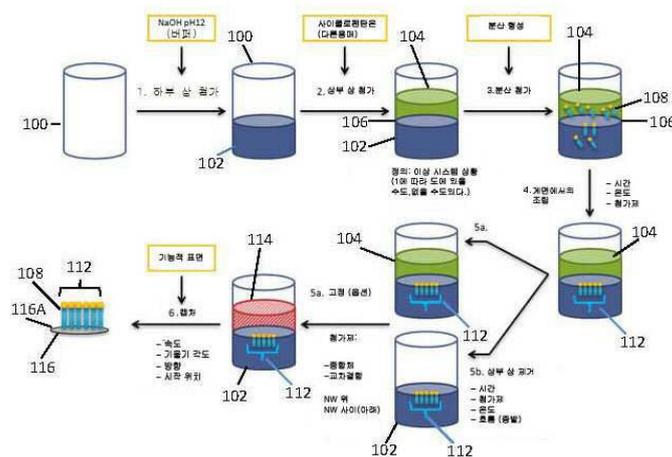
전체 청구항 수 : 총 60 항

(54) 발명의 명칭 나노와이어 조립체의 캡처 및 정렬 방법

(57) 요약

본 실시예는 배향된 나노와이어 조립체를 액체 계면에서 표면으로 전사하는 방법으로서, 상기 방법은 제1액체 및 제2액체를 제공하고, 제1 및 제2액체 상은 하부 상, 상부 상, 하부 상과 상부 상 사이의 계면으로 분리되며; 대부분의 나노와이어가 계면에 위치하도록 제1 및 제2액체에서 반도체 나노와이어를 포함하는 나노와이어를 제공하며; 기판상에서 다수의 나노와이어가 서로에 대해 정렬되도록 기판에 나노와이어를 제공하는 것을 포함하는 것을 특징으로 하는 방법이다.

대표도 - 도1



(52) CPC특허분류

H01L 29/20 (2013.01)

H01L 29/22 (2013.01)

H01L 31/035227 (2013.01)

B82Y 10/00 (2013.01)

B82Y 15/00 (2013.01)

B82Y 40/00 (2013.01)

(72) 발명자

카스틸로-레옹, 하이메

스웨덴 라운드 에스이-222 63 세에렌베겐 22, 슐
발테익스 에이비내

비크룬드, 페르

스웨덴 라운드 에스이-222 63 세에렌베겐 22, 슐
발테익스 에이비내

명세서

청구범위

청구항 1

배향된 나노와이어 조립체를 액체 계면에서 표면으로 전사하는 방법으로서, 상기 방법은:

제1액체 및 제2액체를 제공하고, 제1 및 제2액체 상은 하부 상, 상부 상, 하부 상과 상부 상 사이의 계면으로 분리되며;

대부분의 나노와이어가 계면에 위치하도록 제1 및 제2액체에서 반도체 나노와이어를 포함하는 나노와이어를 제공하며;

기관상에서 다수의 나노와이어가 서로에 대해 정렬되도록 기관에 나노와이어를 제공하는 것을 포함하는 것을 특징으로 하는 방법.

청구항 2

제1항에 있어서,

적어도 50%의 나노와이어가 기관에 대하여 실질적으로 일방향적으로 배향되는 것을 특징으로 하는 방법.

청구항 3

제1항에 있어서,

적어도 70%의 나노와이어가 기관에 대하여 실질적으로 일방향적으로 배향되는 것을 특징으로 하는 방법.

청구항 4

제1항에 있어서,

적어도 80%의 나노와이어가 기관에 대하여 실질적으로 일방향적으로 배향되는 것을 특징으로 하는 방법.

청구항 5

제1항에 있어서,

50%보다 적은 나노와이어가 계면에 대하여 실질적으로 일방향적으로 배향되나, 적어도 50%의 나노와이어가 기관에 대하여 실질적으로 일방향적으로 배향되는 것을 특징으로 하는 방법.

청구항 6

제1항에 있어서,

대부분의 나노와이어가 제1 및 제2액체 사이의 계면에 정렬된 나노와이어 조립체를 형성하며, 나노와이어가 계면에 대하여 실질적으로 일방향적으로 배향되는 것을 특징으로 하는 방법.

청구항 7

제6항에 있어서,

적어도 70%의 나노와이어가 계면에 대하여 실질적으로 일방향적으로 배향되는 것을 특징으로 하는 방법.

청구항 8

제6항에 있어서,

적어도 80%의 나노와이어가 계면에 대하여 실질적으로 일방향적으로 배향되는 것을 특징으로 하는 방법.

청구항 9

제6항에 있어서,

대부분의 나노와이어가 계면에 대하여 20° 이내로 수직하게 배향되는 것을 특징으로 하는 방법.

청구항 10

제9항에 있어서,

계면에 대하여 실질적으로 일방향적으로 배향되지 않은 소수의 나노와이어가 무작위적으로 배향되거나 대다수의 나노와이어의 일방향과 다른 방향으로 정렬되는 것을 특징으로 하는 방법.

청구항 11

제1항에 있어서,

나노와이어는 나노와이어 분산액을 형성하기 위해 분산액에서 분산되는 것을 특징으로 하는 방법.

청구항 12

제11항에 있어서,

분산액은 제1 또는 제2액체와 같은 것을 특징으로 하는 방법.

청구항 13

제11항에 있어서,

나노와이어 분산액이 제1액체에 제공되고, 뒤이어 제2액체가 제1액체에 첨가되는 것을 특징으로 하는 방법.

청구항 14

제11항에 있어서,

나노와이어 분산액이 제1액체에 제공되어 나노와이어 분산액이 제2액체를 형성하도록 하는 것을 특징으로 하는 방법.

청구항 15

제11항에 있어서,

나노와이어 분산액이, 제1 및 2액체 모두를 담고 있는 용기에 제공되는 것을 특징으로 하는 방법.

청구항 16

제6항에 있어서,

제1 및 2액체 중 적어도 하나의 조성물을 변경하거나, 제1 및 2액체 중 적어도 하나의 온도를 변경하거나, 또는 나노와이어가 계면에서 조립할 수 있는 충분한 시간이 지나는 것을 허용함으로써, 나노와이어 조립체 형성을 촉진하는 것을 더 포함하는 것을 특징으로 하는 방법.

청구항 17

제1항에 있어서,

제1액체는 제2액체에서 비혼화성이거나 부분적으로 혼화성인 것을 특 특징으로 하는 방법.

청구항 18

제1항에 있어서,

나노와이어는 계면에서 정렬되고 계면에서 기관의 캡처 표면으로 정렬된 배열에서 전사되고;

나노와이어는 장 축이 기관의 캡처 표면에 실질적으로 수직인 방향으로 배향되며, 한 단부 상에 나노 입자를 포함하는 것을 특징으로 하는 방법.

청구항 19

제1항에 있어서,

나노와이어의 적어도 하나의 단부를 기능화하는 것을 더 포함하는 것을 특징으로 하는 방법.

청구항 20

제19항에 있어서,

나노와이어의 양 단부를 기능화하고, 나노와이어의 제1단부는 나노와이어의 제1화합물로 기능화되고, 나노와이어의 제2화합물은 제1화합물과 다른 제2화합물로 기능화되는 것을 더 포함하는 것을 특징으로 하는 방법.

청구항 21

제20항에 있어서,

제1화합물은 소수성이고 제2화합물은 친수성인 것을 특징으로 하는 방법.

청구항 22

제1항에 있어서,

기판을 기능화 화합물로 기능화하는 것 더 포함하는 것을 특징으로 하는 방법.

청구항 23

제22항에 있어서,

기판은 1-옥타데칸티올 또는 폴리에틸렌이민으로 기능화되는 것을 특징으로 하는 방법.

청구항 24

제23항에 있어서,

각각의 나노와이어가 상단부에서 금속 촉매 입자를 갖는 반도체 나노와이어를 포함하고;

금속 촉매 입자를 포함하는 나노와이어의 상단부는 나노와이어의 상단부에 소수성 또는 친수성을 부여하는 제1 기능화 화합물로 기능화되는 것을 특징으로 하는 방법.

청구항 25

제24항에 있어서,

기판에 연결된 나노와이어의 하단부는 제1기능화 화합물과 다른 제2기능화 화합물로 기능화되고,

제1기능화 화합물이 친수성이면 제2기능화 화합물은 소수성이거나, 제1기능화 화합물이 소수성이면 제2기능화 화합물은 친수성인 것을 특징으로 하는 방법.

청구항 26

제25항에 있어서,

제1기능화 화합물은 1-옥타데칸티올이고, 제2기능화 화합물은 (12-포스포노도데실)포스포산인 것을 특징으로 하는 방법.

청구항 27

제23항에 있어서,

제1액체는 염기성 수용액을 포함하고, 제2액체는 사이클로펜탄온을 포함하는 것을 특징으로 하는 방법.

청구항 28

제1항에 있어서,

나노와이어는 III-V 또는 II-VI 반도체를 포함하는 것을 특징으로 하는 방법.

청구항 29

제28항에 있어서,

나노와이어는 InP 또는 GaAs를 포함하는 것을 특징으로 하는 방법.

청구항 30

제1항에 있어서,

나노와이어의 조립체를 기판에 제공하는 것은, 기판을 적어도 하나의 제1 및 제2액체에 담그는 것을 포함하는 것을 특징으로 하는 방법.

청구항 31

제30항에 있어서,

나노와이어 조립체를 기판에 제공하기 이전에 상부 상을 완전히 또는 부분적으로 제거하는 것을 더 포함하는 것을 특징으로 하는 방법.

청구항 32

제31항에 있어서,

계면에서 나노와이어를 고화하고 보유하는 제3액체를 첨가하는 것을 더 포함하는 것을 특징으로 하는 방법.

청구항 33

제1항에 있어서,

나노와이어를 포함하는 기판을 솔라 셀에 통합하는 것을 더 포함하는 특징으로 하는 방법.

청구항 34

제1항에 있어서,

제1 및 제2액체가 제공되기 전에 나노와이어가 **사전-조립**되는 것을 특징으로 하는 방법.

청구항 35

제1항에 있어서,

기판과 나노와이어가 솔라 셀에 제공되는 것을 특징으로 하는 방법.

청구항 36

액체 표면에서 나노와이어를 정렬 및 조립하는 방법으로서:

제1액체 및 제2액체를 제공하고, 제1 및 제2액체 상이 하부 상, 상부 상, 하부 상과 상부 상 사이의 계면으로 분리되며;

대부분의 나노와이어가 계면에서 서로에 대해 일방향적으로 배향되도록 제1 및 제2액체에서 반도체 나노와이어를 포함하는 나노와이어를 제공하는 것을 포함하는 것을 특징으로 하는 방법.

청구항 37

제36항에 있어서,

적어도 50%의 나노와이어가 계면에 대하여 실질적으로 일방향적으로 배향되는 것을 특징으로 하는 방법.

청구항 38

제36항에 있어서,

적어도 70%의 나노와이어가 계면에 대하여 실질적으로 일방향적으로 배향되는 것을 특징으로 하는 방법.

청구항 39

제36항에 있어서,

적어도 80%의 나노와이어가 계면에 대하여 실질적으로 일방향적으로 배향되는 것을 특징으로 하는 방법.

청구항 40

제36항에 있어서,

대부분의 나노와이어가 계면에 대하여 20° 이내로 수직하게 배향되는 것을 특징으로 하는 방법.

청구항 41

제36항에 있어서,

나노와이어는 나노와이어 분산액을 형성하기 위해 분산액에서 분산되는 것을 특징으로 하는 방법.

청구항 42

제41항에 있어서,

분산액은 제1 또는 제2액체와 같은 것을 특징으로 하는 방법.

청구항 43

제41항에 있어서,

나노와이어 분산액이 제1액체에 제공되고, 뒤이어 제2액체가 제1액체에 첨가되는 것을 특징으로 하는 방법.

청구항 44

제41항에 있어서,

나노와이어 분산액이 제1액체에 제공되어 나노와이어 분산액이 제2액체를 형성하도록 하는 것을 특징으로 하는 방법.

청구항 45

제41항에 있어서,

나노와이어 분산액이, 제1및 2액체 모두를 담고 있는 용기에 제공되는 것을 특징으로 하는 방법.

청구항 46

제46항에 있어서,

나노와이어의 적어도 하나의 단부를 기능화하는 것을 특징으로 하는 방법.

청구항 47

제46항에 있어서,

나노와이어의 양쪽 단부를 기능화하는 것을 더 포함하고, 나노와이어의 제1단부는 제1화합물로 기능화되고, 나노와이어의 제2단부는 제1화합물과 다른 제2화합물로 기능화되는 것을 특징으로 하는 방법.

청구항 48

제47항에 있어서,

제1화합물은 소수성이고 제2화합물은 친수성인 것을 특징으로 하는 방법.

청구항 49

제36항에 있어서,

제1 및 2액체 중 적어도 하나의 조성물을 변경하거나, 제1 및 2액체 중 적어도 하나의 온도를 변경하거나, 또는 나노와이어가 계면에서 조립할 수 있는 충분한 시간이 지나는 것을 허용함으로써, 나노와이어 조립체 형성을 촉진하는 것을 더 포함하는 것을 특징으로 하는 방법.

청구항 50

제36항에 있어서,

제1액체는 제2액체에서 비혼화성이거나 부분적으로 혼화성인 것을 특 특징으로 하는 방법.

청구항 51

제47항에 있어서,

각각의 나노와이어가 상단부에서 금속 촉매 입자를 갖는 반도체 나노와이어를 포함하고;

금속 촉매 입자를 포함하는 나노와이어의 상단부는 나노와이어의 상단부에 소수성 또는 친수성을 부여하는 제1 기능화 화합물로 기능화되는 것을 특징으로 하는 방법.

각각의 나노와이어가 상단부에서 금속 촉매 입자를 갖는 반도체 나노와이어를 포함하고;

청구항 52

제47항에 있어서,

제1기능화 화합물이 친수성이면 제2기능화 화합물은 소수성이거나, 제1기능화 화합물이 소수성이면 제2기능화 화합물은 친수성인 것을 특징으로 하는 방법.

청구항 53

제52항에 있어서,

제1기능화 화합물은 1-옥타데칸티올이고, 제2기능화 화합물은 (12-포스포노도데실)포스포산인 것을 특징으로 하는 방법.

청구항 54

제36항에 있어서,

제1액체는 염기성 수용액을 포함하고, 제2액체는 사이클로펜탄온을 포함하는 것을 특징으로 하는 방법.

청구항 55

제36항에 있어서,

나노와이어는 III-V 또는 II-VI 반도체를 포함하는 것을 특징으로 하는 방법.

청구항 56

제55항에 있어서,

나노와이어는 InP 또는 GaAs를 포함하는 것을 특징으로 하는 방법.

청구항 57

제36항에 있어서,

계면에서 나노와이어를 고화하고 보유하는 제3액체를 첨가하는 것을 더 포함하는 것을 특징으로 하는 방법.

청구항 58

제57항에 있어서,

나노와이어 조립체를 기관에 제공하기 이전에 상부 상을 완전히 또는 부분적으로 제거하는 것을 더 포함하는 것을 특징으로 하는 방법.

청구항 59

제36항에 있어서,

제1 및 제2액체가 제공되기 전에 나노와이어가 **사전-조립**되는 것을 특징으로 하는 방법.

청구항 60

제36항에 있어서,

기관과 나노와이어가 솔라 셀에 제공되는 것을 특징으로 하는 방법.

발명의 설명

기술 분야

[0001] 본 출원은 2014년 4월 29일 출원된 스위치 특허 출원 제1430057-8호와 관련되고, 그 전체 내용은 참조로 본 명세서에 통합된다.

[0002] 본 발명은 나노와이어 장치의 형성, 특히 나노와이어 장치를 만들기 위한 나노와이어의 캡처 및 정렬에 관한 것이다.

배경 기술

[0003] 표면에 나노 구조를 캡처하는 기존의 기술은, 낮은 길이-직경비(예를 들면, 나노 로드, 나노 입자)를 갖는 나노 구조의 정렬 및 캡처/증착에 초점을 맞추고 있다. 그러나, 상당한 길이-직경비(예를 들면, 나노와이어)를 갖는 나노 구조의 캡처와 정렬은 더 어렵다. 나노와이어를 선호하는 방향으로 정렬하는 것 역시 어렵다. 기존의 기술은 나노 구조들의 정렬과 캡처/증착을 달성하기 위해 외부 장비 또는 고전압의 사용을 요구할 수 있는 외부 제어(예를 들면, 인가된 전계, 느린 용매 증발 또는 고온 어닐링)를 사용한다. 외부 제어는 생산 비용을 증가시키고 나노와이어 장치 생산의 확장성(scalability)을 감소시킨다.

발명의 내용

해결하려는 과제

[0004] 본 발명은 나노와이어 조립체의 캡처 및 정렬 방법을 제공하는 것을 목적으로 한다.

과제의 해결 수단

[0005] 실시예는 배향된 나노와이어의 조립체를 액체 계면으로부터 제1액체 및 제2액체의 제공을 포함하는 표면으로 전사하는 방법에 관한 것이다. 제1 및 제2액체는 하부 상, 상부 상 및 하부 상과 상부 상 사이의 계면으로 분리된다. 또한, 상기 방법은 제1 및 제2액체에 나노와이어를 제공하여 대부분의 나노와이어가 계면에 위치하도록 하여 기관에 나노와이어를 제공하여 다수의 나노와이어가 기관에서 서로에 대해 정렬되도록 한다.

발명의 효과

[0006] 본 발명은 나노와이어 조립체의 캡처 및 정렬 방법을 제공한다.

도면의 간단한 설명

[0007] 도 1은 본 발명의 실시예에 따른 나노와이어 조립체의 캡처 및 조립 방법을 개략적으로 도시한 도면이다.

도 2는 본 발명의 실시예에 따른 기능화된 나노와이어를 개략적으로 도시한 도면이다.

도 3은 본 발명의 실시예에 따른 정렬 및 조립된 나노와이어의 방법을 개략적으로 도시한 도면이다.

도 4는 본 발명의 실시예에 따른 나노와이어 조립체를 캡처 및 정렬하는 방법을 개략적으로 도시한 도면이다.

도 5는 본 발명의 원리에 따른 실시예의 솔라 셀(solar cell)의 측면도이다.

도 6-10은 본 발명의 실시예에 따른 정렬된 나노와이어 조립체의 전자 현미경(SEM) 사진이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

- [0008] 방법의 실시예는 용기에 위치한 제1액체와 제1액체에 첨가된 나노와이어 분산액을 사용한다. 나노와이어 분산액은 분산액 내에서 사전-조립된 나노와이어를 분산시킴으로써 제조된다. 즉, 분산액 내의 인-시투(in-situ) 형성 나노와이어와 대조적으로 나노와이어는 분산액에 첨가되기 이전에 조립된다. 본 실시예에서, 분산액이 선택되어 나노와이어 분산액이 제1액체에서 비혼화성이거나 부분적으로 혼화성이 된다. 이러한 방식으로, 나노와이어 분산액이 제1액체에 첨가될 때, 제1액체와 분산액의 상이 분리되고, 두 개의 액상 시스템을 만든다. 더 밀도가 높은 액체는 용기의 바닥에 침전하며 하부 상을 형성하고, 반면 밀도가 더 낮은 액체는 제1액체의 상부에 뜨며 상부 상을 형성한다. 그 결과 생성된 2상 시스템은 상부 상과 하부 상, 그리고 상부 상과 하부 상 사이의 계면을 갖는다.
- [0009] 본 발명의 일 실시예에서, 나노와이어 분산액 내 나노와이어는 같은 물질로 구성될 수 있다. 또는, 나노와이어 분산액은 다른 물질로 구성된 나노와이어를 포함할 것이다. 본 실시예 및 아래의 실시예에서 사용이 적합한 나노와이어 물질은 금속(예를 들면, 금, 은과 그 합금), 카본 나노와이어 또는 나노 튜브(단일층 또는 복합층), III-V(GaAs 및 InP와 같은 Al, In, Ga, N, P, As로 구성된 이원, 삼원, 사원 III-V 반도체 포함)을 포함한 반도체 및 II-VI 반도체(ZnO, CdSe와 같은 Zn, Cd, Se, O, S, Te로 구성된 이원, 삼원, 사원 II-V 반도체 포함), 세라믹을 포함한다. 나노와이어는 수용된 상태로 사용되거나 하나 이상의 표면 처리를 받을 수 있을 것이다.
- [0010] 제1액체에 나노와이어 분산액을 첨가한 후, 대부분의 나노와이어는 계면에서 조립된다. 일반적으로, 나노와이어는 계면에서 자발적으로 조립되는데, 즉, 나노와이어는 충분한 시간이 주어지면, 계면에서 자기 정렬한다. 그러나, 나노와이어는 그 계면에서 나노와이어의 조립을 촉진 또는 가속하는 하나 이상의 조건들에 적용되기 쉽다. 가속은 몇 가지 방법으로 이루어질 수 있다. 예를 들면, 가속은 상부 상의 조성물, 하부 상의 조성물의 변경 또는 용기의 온도의 변경을 통해 이루어질 수 있다.
- [0011] 본 발명의 일 실시예에서, 2상 시스템의 상부 상은 2상 시스템의 상부 상의 나노와이어의 길이보다 더 두껍다(예를 들면, 도 2-4에 도시된 바와 같이, 상부 상은 나노와이어의 길이보다 큰 값인 H2의 높이를 갖는다). 선택적으로, 상부 상은 나노와이어를 기관으로 전사하기 전 용기에서 부분적으로 또는 완전히 제거될 수 있다.
- [0012] 정렬된 나노와이어 조립체를 형성한 후에, 정렬된 나노와이어는 용기에서 기관으로 전사될 수 있다. 본 발명의 일 실시예에서, 기관의 표면은 기능화(functionalized)된다. 기능화 화합물은 나노와이어를 기관 표면에 붙드는(securing) 것을 돕는다. 본 발명의 일 실시예에서, 계면을 교차하는 기관의 기능화된 표면을 이동하여 계면에서 기능화된 표면을 나노와이어에 접촉하도록 움직임으로써 이루어진다. 기관은 액체 계면에 대하여 수직, 수평 또는 일정 각도로 기울게 배향될 수 있다.
- [0013] 특정한 작용기를 포함하는 기능 중의 화학 반응 또는 물리적 흡착에 의해 기관의 표면이 변형될 수 있다(예를 들면, 기능화됨). 또는, 기관 표면이 수용된 상태로 사용될 수 있다(즉, 베어(bare)). 이것들로 한정되는 것은 아니지만, 사용될 수 있는 기관의 예로, 실리콘, 폴리브덴, 실란 변성 실리콘, 금, 티올 변형 금 또는 물리적으로 흡착된 양이온 성 중합체를 갖는 실리콘 표면을 포함한다.
- [0014] 또 다른 실시예에서, 나노와이어 분산액을 제1액체에 첨가하는 것보다 먼저, 2상 액체 시스템을 형성한 다음 나노와이어를 시스템에 첨가한다. 따라서, 제1액체와 다른 제2액체는 제1액체에 첨가될 수 있다. 바람직하게는, 제2액체는 제1액체에 대해 비혼화성이거나 부분적 혼화성/부분적 비혼화성이다. 이러한 방식으로 그리고 이전의 실시예와 유사하게, 제2액체가 제1액체에 첨가되면, 두 액체의 상은 분리되고, 2상 액체 시스템을 만든다. 밀도가 높은 액체는 용기의 바닥에 침전하고, 반면 밀도가 낮은 액체는 제1액체의 상부에 뜨며, 그 결과 상부 상과 하부 상, 그리고 상부와 하부 상 사이의 계면으로 구성되는 2상 시스템을 초래한다. 본 발명의 일 실시예에서, 나노와이어 또는 나노와이어 분산액은 제2액체를 제1액체에 첨가하기 전 2상 시스템에 첨가되거나 제1액체에 첨가될 수 있다. 나노와이어 분산액은 분산액에 분산된 나노와이어(예를 들면, 용매)로 구성된다. 분산액은 제1액체 또는 제2액체와 같다. 또는, 분산액은 제1 및 제2액체 모두와 다른 제3액체일 것이다. 또는 건조 나노와이어가 첨가될 수 있다.
- [0015] 기능화 화합물과 액체들의 종류 및 조성(예를 들면, 제1액체, 분산액, 제2액체 및 첨가제(사용되는 경우))의 선

택에 기반하여, 나노와이어의 방향과 정렬이 제어될 수 있다. 이와 유사한 방법으로, 이 변수/조성 변수가 나노와이어-나노와이어 사이 간격을 서로 다르게 하는 것을 허용할 것이며, 그 결과 서로 다른 (즉, 미리 선택된) 밀도(예를 들면, 평방 미크론 당 나노와이어들의 밀도)를 가진 조립체를 초래한다. 나노와이어-나노와이어 사이 간격은, 기관에서 정렬된 나노와이어의 캡처 후, 덮인 표면적의 퍼센티지로부터 추론될 수 있다.

[0016] 본 발명의 일 실시예에서, 방법은 나노와이어 조립체를 고정하는 추가적인 단계를 포함한다. 본 실시예에서, 고화제가 액체의 상부 상과 하부 상의 고화를 야기하는 나노와이어 조립체와 함께 용기에 첨가된다. 본 발명의 일 실시예에서, 고화된 상은 부드러운 층(예를 들면, 겔 또는 유연한 고체 층)으로, 나노와이어를 붙든다. 또는, 만약 상부 액체 상이 완전히 제거된다면, 액체가 첨가될 것이고, 액체의 하부 상이 고화되어 나노와이어 조립체를 붙들도록 초래할 것이다. 또 다른 실시예에서, 액체 중 하나가 상부 또는 하부 상을 고화하기 위해 방사선(예를 들면, 가시 광선 또는 자외선과 같은 열 또는 전자기 방사선)에 노출될 수 있다. 또 다른 실시예에서, 제1액체, 분산액 또는 제2액체는 시간을 통해 스스로 고화하는 액체다. 이러한 방법으로, 나노와이어는 상부(또는 하부)상에서 고정될 수 있다. 또 다른 실시예에서, 만약 상부 액체 상이 상당히 제거되면, 하부 액체 상과 접촉하게 될 때 액체가 첨가되고, 고화하고, 나노조립체를 붙들 것이다.

[0017] 본 발명의 일 실시예에서, 계면에서 정렬된 나노와이어와 접촉하는 기능화된 기관의 표면을 포지셔닝함으로써, 상부 상과 하부 상 사이 계면에 정렬된, 바람직하게는 나노와이어의 장축이 계면의 표면과 실질적으로 수직하게 정렬된, 나노와이어는 기능화된 기관으로 정렬된 채로 전사된다. 나노와이어의 조립체는 정렬된 나노와이어와 기능화된 표면의 정전기 상호 작용의 결과 또는 나노와이어와 기능화된 표면의 반데어 발트(van der Waals) 상호 작용의 결과로 계면에서 기능화된 기관의 표면으로 전사된다.

[0018] 기능화 화합물 선택 시 고려되어야 할 변수는 나노와이어 전사/캡처 단계에서 기능화된 표면의 습윤성이다. 기관의 표면은 제1액체에 적절히 젖어야 한다. 즉, 기능화된 기관 표면에서 나노와이어 조립체의 전사가 자발적이고(즉, 보조 없이), 빠른 속도로 발생할 수 있도록 해야 한다. 본 발명의 일 실시예에서, 제1액체는 기능화된 표면에서 약 130도보다 적은 접촉 각을 가질 것이다. 바람직하게는, 접촉 각은 0에서 75°와 같이, 90도보다 적다. 바람직하게는, 기능화된 기관 표면의 젖음은 나노와이어 조립체의 출현에 의해 촉진된다. 특정 캡처 형상에서는, 제1 및/또는 제2액체와 기능화된 표면의 고접촉각(예를 들어, >90°)이 바람직하다. 특히, 기능화된 표면이 나노와이어 조립체와 접촉하도록 허용되고 기능화된 표면이 실질적으로 액체의 계면에 수평인 경우. 이러한 상황에서는, 기능화된 표면은 액체 계면을 절대 실제로 교차하지 않고, 대신 단순히 액체의 계면의 한 측면으로부터 나노와이어 조립체를 집어 낸다.

[0019] 본 발명의 일 실시예에서, 나노와이어는 나노와이어가 소수성(펜타티올(Pentanethiol), 퍼플루오로데칸티올(perfluorodecane thiol), 도데실트리클로로실란(dodecyltrichlorosilane), 스테아르산(stearic acid), 데실포스폰산(decyl phosphonic acid), 5-(1,2-디티올란-3-일)-N-도데실펜탄아미드(5-(1,2-dithiolan-3-yl)-N-dodecylpentanamide), 나트륨 도데실설페이트(sodium dodecyl sulfate), 트리페닐포스핀, 옥타데실티올(octadecylthiol)과 같은) 알칸, 불소제 포함) 및/또는 친수성(나트륨 메르캅토프로판술포네이트(sodium mercaptopropane sulfonate), 나트륨 메르캅토에탄술포네이트(sodium mercaptoethane sulfonate), 메르캅토알칸 석시네이트(2-메르캅토석시네이트)(mercaptoalkane succinate(2-mercaptosuccinate)), 메르캅토알칸 아민(mercaptoalkane amine), (11-메르캅토운데실)-N, N, N-트리메틸암모늄브로마이드((11-mercaptoundecyl)-N,N,N-trimethylammonium bromide), (12-포스포도데실)포스폰산((12-Phosphonododecyl)phosphonic acid, (±)-1,2-디티올란-3-펜탄산(리포산으로도 공지됨)((±)-1,2-Dithiolane-3-pentanoic acid), (2-암모니에틸)디-테르트-부틸포스포늄비스(테트라플루오로보레이트)((2-Ammonioethyl)di-tert-butylphosphonium bis(tetrafluoroborate)), (3-아미노프로필)트리에톡시실란((3-Aminopropyl)triethoxysilane), 12-메르캅토도데카노인산(12-mercaptododecanoic acid)과 같은) 황산염, 인산염, 카르복실산염, 아민, 폴리에테르 포함)을 부여하는 화합물로 기능화될 수 있다. 본 발명의 일 실시예에서, 액체 계면에서 수직 정렬을 달성하기 위해 서로 다른 기능화 화합물을 사용하여 나노와이어 표면의 한 부분에 소수성이 부여되고 나노와이어 표면의 나머지 부분은 친수성이 부여된다. 또 다른 실시예에서, 나노와이어 표면의 오직 한 부분만 기능화 화합물로 다루어진다.

[0020] 도 1은 본 발명의 실시예에 따른 나노와이어 조립체의 캡처 및 정렬 방법을 개략적으로 도시한 도면이다. 본 실시예의 제1단계1에서, 제1액체는 하부 상(102)을 형성하기 위해 용기(100)에 담긴다. 비커, 자(jar), 배럴(barrel) 등과 같이 액체를 담을 수 있는 모든 용기(100)가 사용될 수 있다. 본 발명의 일 실시예에서, 제1액체는 NaOH 용액 또는 다른 염기성 용액 같은 염기성 수용액(pH 7 이상)이다. 용액의 pH는, 예를 들면 10-12와 같이, 9-13의 범위 내에 있을 것이다. 선택적으로, 하나 이상의 버퍼가 제1액체에 첨가된다. 제2단계2에서, 제2

액체는 상부 상(104)을 형성하기 위해 용기(100)에 첨가된다. 상기된 바와 같이, 상을 분리시키고 상부 상(104)과 하부 상(102) 간의 계면을 형성하기 위해 제1 및 제2액체가 선택된다. 본 발명의 일 실시예에서, 상부 상(104)은 하부 상(102)과 비혼화성 또는 오직 부분적 비혼화성/혼화성인 사이클로펜탄온과 같은 액체로 구성된다.

- [0021] 제3단계3에서, 분산액에 분산된 사전-조립된 나노와이어(108)로 구성된 나노와이어 분산액이 용기(100)에 첨가된다. 사전-조립된 나노와이어(108)는 상부 상(104)과 하부 상(102)의 외부에서 조립된다. 예를 들면, 사전-조립된 나노와이어(108)는 나노와이어 분산액을 상부(104)와 하부 상(102)에 첨가하기 이전에 분산액에서 인-시투(in-situ)로 조립되거나 또는 분산액에 첨가하기 이전에 조립된 후 분산액에 첨가된다. 나노와이어 분산액 내 나노와이어(108)는 초기에 용기(100)에 첨가되면 무작위 방향을 가지며, 하부 및 상부 상(102 및 104) 모두에서 발견될 수 있다. 선택적으로, 나노와이어(108)는 상기 설명과 같이 기능화된다. 제4단계4에서, 나노와이어(108)는 계면에 제공되고 바람직하게는 나노와이어(108)의 조립체(112)를 형성하기 위해 계면에서 정렬/조립된다. 상기된 바와 같이, 나노와이어 분산액을 형성하기 위해 사용된 액체는 제1 또는 2 액체와 같거나 제1 또는 2 액체와 다를 것이다.
- [0022] 도 1에서 도시한 바와 같이, 본 발명의 일 실시예에서, 용기(100) 내 다수의 나노와이어(108)가 계면(106)에 위치한다. 바람직하게는 용기(100) 내 나노와이어(108)의 적어도 50%(예를 들면 50-100%, 70% 이상, 75-99%, 80% 이상, 90-99%)가 계면(106)에 위치하며, 반면 계면에서 떨어져 있는 제1 및/또는 2 액체에는 나노와이어가 없거나 소수의 나노와이어만 위치한다.
- [0023] 바람직하게는, 용기(100) 내 다수의 나노와이어(108)가 계면(106)에서 나노와이어(108) 조립체(112)를 형성하기 위해 정렬한다(예를 들면, 자기정렬). 바람직하게는, 용기(100) 내 적어도 50%의 나노와이어(108)(예를 들면, 50-100%, 70% 이상, 75-99%, 80% 이상, 90-99%)가 계면(106)에서 나노와이어(108) 조립체(112)를 형성하기 위해 (서로에 대해 일방향적으로 배향됨) 정렬한다. 소수의 나노와이어(108)는 계면(106)에서 무작위적으로 배향되거나 또는 계면에서 다수의 나노와이어가 갖는 일방향과 다른 방향으로 정렬되거나 선호되는 방향 없이 무작위로 배열될 수 있다.
- [0024] 바람직하게는, 계면(106)에 정렬된 대부분의 나노와이어(108)는, 위를 가리키는 같은 단부(예를 들면, 촉매 입자 단부)를 갖는 계면(106)에 대해 20° 이내, 10° 이내와 같이, 실질적으로 수직하게 정렬된다. 나노와이어(108)의 한 부분(예를 들면, 하부)은 액체(102)에 위치하고 나노와이어(108)의 다른 부분(예를 들면, 상부)은 액체(104)에 위치한다.
- [0025] 또는, 계면(106)에 위치한 용기(100) 내 대부분의 나노와이어(108)는 실질적으로 계면(106)에 수직하지 않는 방향으로 정렬되어 있거나(예를 들면, 계면(106)에 대해 0과 89 사이의 각도) 계면에서 무작위적 방향으로 위치할 것이다.
- [0026] 그러나, 용기(100) 내 모든 나노와이어(108)가 조립체(112)를 형성하기 위해 정렬하는 것이 필수는 아니다. 계면(106)에 위치하지 않는 소수의 나노와이어는 무작위적으로 배향되거나 또는 계면에서 다수의 나노와이어가 공유하는 일방향과 같거나 다른 방향으로 정렬될 수 있다.
- [0027] 상기된 바와 같이, 정렬/조립은 단순히 시간의 지남에 따라 발생할 것이다. 그러나, 나노와이어의 정렬/조립은 하부(102) 및/또는 상부(104) 상에 첨가제가 첨가되면서 보조된다. 또는, 나노와이어(108)의 정렬/조립을 촉진하기 위해 시스템의 온도(예를 들면, 용기(100), 상부 및 하부 상(104 및 102), 나노와이어(108))는 변경될 수 있다(원하는 만큼 낮추거나 올린다).
- [0028] 두 가지 대안 5a, 5b는 선택적인 제5단계에 도시된다. 첫 번째 옵션 5a에서, 상부 또는 하부 상(102, 104)은 상을 고화하도록 처리되고 이에 따라 그 안의 나노와이어(108)를 고정한다. 상기된 바와 같이, 상부 또는 하부 상(102, 104)에 고화제(예를 들면, 단량체와 같은 중합체 또는 전구체)를 첨가한 후, 뒤이어 중합체에 내장된 나노와이어를 형성하기 위한 전구체의 교차 결합을 위해 상부 또는 하부 상(102, 104)의 조사 또는 가열으로써 고화가 달성될 수 있다. 또는, 중합체를 함유하는 상/층에서 용매를 제거하면서(즉, 화학가교) 고화가 달성된다. 즉, 중합체를 함유하는 상은 용매가 증발하면서 고화되고, 그 결과 층이 더 경화된다.
- [0029] 선택적 옵션 5b에서, 상부 상(104)은 부분적으로 또는 완전히 제거된다. 상부 상(104)은 시간의 지남에 따라(예를 들면, 증발 또는 하부 상(102)으로 용해됨에 따라), 또는 첨가제의 보조에 의하거나, 액체의 온도를 올리거나(증발을 가속하기 위해), 디캔팅(decanting)에 의해 제거될 수 있다. 이런 방법으로, 나노와이어의 단부가 노출된다(즉, 상부 상(104)에 완전히 담가지지 않음).

- [0030] 단계 6에서, 나노와이어의 조립체(112)는 기관(116)으로 전사(기관에서 캡처)된다. 본 발명의 일 실시예에서, 기관의 캡처 표면(116A)은 나노와이어(108)의 조립체(112)의 보호를 돕기 위해 기능화된다. 본 발명의 일 실시예에서, 기관(116)은 나노와이어 조립체(112) 아래로 가라앉고 기관(116)의 캡처 표면(116A)이 계면(106)에 평행하게 배향된다(즉, 캡처 표면(116)이 나노와이어(108)에 대해 수직이다). 그 후 기관(116)은 천천히 나노와이어(108)의 조립체(112)에 접하도록 들어올려진다. 만약 상부 또는 하부 상이 위에서 설명한 듯이 고화되면, 그 후 고화된 상은 나노와이어 조립체와 함께 기관의 캡처 표면의 용기에서 제거된다.
- [0031] 또 다른 발명의 실시예에서, 기관(116)은 제1 및 제2액체에 상부 상(104)과 하부 상(102) 사이의 계면과의 각도가 θ 이 되도록 잠긴다. 그 후 기관의 캡처 표면(116A)과 나노와이어(108)의 조립체(112) 사이에서 접촉이 이루어진다. 기관(116)은 캡처 표면(116A)에 수직적인 나노와이어(108)와 함께 제1 및/또는 2 액체(만약 단계5b가 뒤따르면 오직 제1액체만)를 통해 드래그 및/또는 제1 및/또는 제2액체로부터 퇴피될 수 있다. 일반적으로, 기관의 퇴피 속도, 기울기 각도, 퇴피 방향 및/또는 시작 위치는 용기로부터 퇴피 및 캡처 표면에 첨가된 나노와이어 조립체를 강화하기 위해 다양할 것이다.
- [0032] 바람직하게는, 나노와이어(108) 조립체(112)가 기관(116)으로 전사될 때, 나노와이어(108)의 적어도 50%(예를 들면, 50-100%, 70% 이상, 75-99%, 80% 이상, 90-99%)가 기관의 표면에 대해 정렬된다. 따라서, 계면(106)에 위치한 다수의 나노와이어(108)는 서로에 대해 정렬되거나(예를 들면, 계면(106)에 대해 수직하게 또는 수직하지 않게) 또는 서로에 대해 무작위로 배열된다. 그러나, 나노와이어가 기관(116)으로 전사될 때, 다수의 나노와이어는 서로에 대해 그리고 기관(116)의 캡처 표면(116A)에 대해, 캡처 표면(116A)과 실질적으로 수직(예를 들면, -20에서 20도, -10에서 10도, 0도)인 것과 같이 정렬된다. 본 발명의 일 실시예에서, 나노와이어(108)는 기관(116)의 캡처 표면(116A)으로부터 먼 나노와이어(108)의 측면을 포함하는 나노 입자(108A)에 맞추어 정렬된다. 또는, 나노와이어(108)는 기관(116)의 캡처 표면(116A)으로부터 근접한 쪽의 나노와이어(108)의 한 측면을 포함하는 나노 입자(108A)에 맞추어 정렬된다. 그러므로, 본 발명의 일 실시예에서, 50%보다 적은 나노와이어(108)는 액체/액체 계면(106)에 정렬되지만, 50% 이상의 나노와이어(108)(예를 들면, 70% 이상, 80% 이상)는 기관(116)에 정렬된다.
- [0033] 도 2는 본 발명의 실시예에 따른 기능화된 나노와이어를 개략적으로 도시한 도면이다. 도 2에 도시된 바와 같이, 나노와이어(108)는 나노와이어(108)의 하나의 단부에 있는 금 나노 입자 표면과 같은 나노 입자(108A)를 포함한다. 나노 입자(108A)는 나노와이어 입자(108A)를 촉매 시드(seed)로 사용하는 VLS(vapor-liquid-solid) 과정에 의해 나노와이어(108)가 성장할 때와 같은 나노와이어(108)의 와이어 포션(108B)(예를 들면, 반도체 부분)의 성장 과정의 결과이다. 나노와이어(108)의 제조 과정의 예시는 US 가출원 제61/623,137호(2012년 4월 12일 출원) 및 PCT출원 W013/154490 A2에 명시되어 있으며, 본 명세서에 그 전문이 인용 참조 되어있다. 제2의, 다른 기능화 화합물(118B)은 나노 입자(108A)가 부족한 나노와이어의 제2단부에 첨가되어 있다. 기능화 화합물(118A, 118B)은 상부 및 하부 상(104 및 102)의 나노와이어(108)의 정렬을 돕는다.
- [0034] 구체적인 예에 관해 아래에서 더 자세히 말하듯이, 기능화 그룹 중 하나가 1-옥타데칸티올(ODT)이며 나머지는 (12-포스포노도데실(phosphonododecyl))포스폰산(PPA)이다. 게다가, 하나(또는 둘)의 기능화 화합물(118A, 118B)은, 예를 들면 기능화 화합물(118A, 118B)의 양 단부의 작용기(119A, 119B)와 같은 하나 또는 두 개의 작용기를 갖는다. 즉, 하나(또는 둘)의 기능화 화합물(118A, 118B)은 간격자 팔/백분의 한 단부 또는 양 단부의 하나 또는 두 개의 작용기(119A, 119B)이다. 또는, 하나(또는 둘)의 기능화된 화합물(118A, 118B)은 오직 하나의 작용기(119A, 119B)를 갖는다. 하나의 작용기(119B)는 나노와이어(118)에 첨가되는 반면, 나머지 작용기(119A)는 기관(116)의 캡처 표면(116A)에 붙어있을 수 있다. 본 발명의 일 실시예에서, 기관 캡처 표면(116A)(예를 들면, Si 기관 표면)은 나노와이어(108)의 제2단부(예를 들면, 나노 입자(108A)가 부족한 단부)에 첨가된 기능화 화합물(118B)(예를 들면, PPA)의 반대 전하를 지니는 화합물로 기능화된다.
- [0035] 본 발명의 일 실시예에서, "기능화 화합물"은 작용기(119B)("앵커"로 지칭)를 부착한 표면으로 구성되며, 제2화합물에 구체적 속성을 부여하는 작용기(119A)를 특징으로 한다. 아래의 표 1은 서로 다른 앵커기 및 서로 다른 종류의 제2와 백분을 나열한다. 앵커와 제2작용의 몇몇 무제한적인 예시의 조합을 예들의 열에 나타낸다. 대표적 용매는 표 1의 마지막 열에 나열되어 있다.

표 1

기능화 화합물			
기능화 종류	앵커	두 번째 작용기	예시

표면에 친수성 부여	티올(Thiol), 카르복실레이트(Carboxylate), 인산(Phosphate), 디설파이드(Disulfide), 실란(Silane), 술폰산염(Sulfonate), 포스핀N- 헤테로사이클릭 카벤(Phosphine N-heterocyclic carbene)	황산염(sulphate), 인산염(phosphate), 카르복실산염(carboxylate), 아민(amine), 폴리에테르(polyether), 알코올(alcohol)	나트륨 메르캅토프로판술포네이트(sodium mercaptopropane sulfonate), 나트륨 메르캅토티에탄술포네이트(sodium mercaptoethane sulfonate), 메르캅토티알칸 석시네이트(2-메르캅토티석시네이트)(mercaptoalcanesuccinate(2-mercaptosuccinate)), 메르캅토티알칸아민(mercaptoalkane amine), (11-메르캅토티운데실)-N, N, N-트리메틸암모늄브로마이드((11-mercaptoundecyl)-N,N,N-trimethylammonium bromide), (12-포스포노도데실)포스포산, (12-Phosphonododecyl)phosphonic acid, (±)-1,2-디티올란-3-펜탄산(리포산으로도 공지됨), (±)-1,2-Dithiolane-3-pentanoic acid (also known as lipoic acid), (2-암모니에틸)디-테르트-부틸포스포늄비스 (테트라플루오로보레이트), ((2-Ammonioethyl)di-tert-butylphosphonium bis(tetrafluoroborate)), (3-아미노프로필)트리에톡시실란, (3-Aminopropyl)triethoxysilane, 12-메르캅토티도데카노인산 NHS 에스테르(12-mercaptododecanoic acid NHS ester)
기능화 종류	앵커	백본	예시
표면에 소수성 부여	티올(Thiol), 인산염(Phosphate), 카르복실산염(Carboxylate), 디설파이드(Disulfide), 실란(Silane), 술폰산염(Sulfonate), 포스핀(Phosphine), N-heterN- 헤테로사이클릭카벤(N-heterocyclic carbene)	알칸(Alkane), 불소화합물(<i>Fluoro-compound</i>)	메틸이소부틸케톤(Methyl isobutylketone), 메틸이소프로필케톤(methyl isopropylketone), 아세토니트릴(acetonitrile), 디에틸에테르(dioxethyl ether), 부탄올(butanol), 헥사놀(hexanol), 에탄올(ethanol), 사이클로펜탄온(cyclopentanone), 사이클로헥산온(cyclohexanone), 부틸아세테이트(butyl acetate), 클로로폼(chloroform), 디클로로메탄(dichloromethane), 과불소폴리에테르(perfluoropolyether (PFPE)), 톨루엔(toluene), 펜탄(pentane), 헥산(hexane), 헵탄(heptane), 물(water)
용매			12-메르캅토티도데카노인산 NHS 에스테르

[0037] 상기 표 1 에서, 용매, 하전된 기능화 화합물 및 비하전된 기능화 화합물의 적절한 조합이 사용될 수 있다. 그리고 표 1에 나열된 대표적 화합물에 더해, 적절한 앵커 및 작용기의 조합이 하전 또는 비하전된 화합물에 사용될 수 있다. 나노와이어 조립체 및 캡처에 적합한 기능화 화합물은 2012년 4월 12일 제출된 US 가출원 61/623,137에 명시되어 있으며, 본 명세서에 그 전문이 인용 참조 되어있다.

[0038] 그리고, 기능화 중합체는 기능화 화합물(118A, 118B)을 대신해서 사용될 수 있다. 기능화 중합체는 나노와이어 표면에 첨가하는 작용기(119B)(앵커기로 지칭)를 부착한 다수의 표면으로 구성된다. 또 다른 실시예에서는, 기능화 중합체가 그 어떤 앵커기(119B)도 함유하지 않으나 다수의 작용기(예를 들면, 알콜(alcohols) 또는 아민(amines))을 가지며, 나노와이어 표면과 상호작용한다(예를 들면, 흡착). 또 다른 실시예에서는, 중합체가 그 어떤 앵커기 또는 작용기도 갖지 않는다. 대신 중합체가 나노와이어 표면(예를 들면, 폴리에틸렌 oxide)과 상호

작용할 수 있는 백본을 갖는다. 이 백본은 어떤 형태의 구성으로든, 예를 들면 교대하는 공중합체, 주기적 공중합체, 통계적인 공중합체, 무작위 공중합체, 블록 공중합체, 그래프트된(grafted) 공중합체와 같이 한 종류의 단량체 또는 몇 가지의 다른 중합체로 구성된다.

- [0039] 본 발명의 일 실시예에서, 나노와이어(108)의 캡처된 조립체(112)를 갖는 기관(116)은, 만약 나노와이어(108)가 도 6에서 도시한 바와 같이 pn 접합(508A)을 가지면, 솔라 셀(501) 안에 배치될 것이다. 예를 들면, 도 5에 개략적으로 도시된 바와 같이, 기관(120)은 기관의 상부 캡처 표면에 대하여 실질적으로 수직하게 위치하는(예를 들면, 90도와 같이, 장 축이 80에서 100도) 반도체(예를 들면, GaAs, InP 등) 나노와이어(108)를 포함한다. 본 실시예의 나노와이어(108)는 하부의 첫 번째 전도형 세그먼트(예를 들면, n 또는 p형)(508A) 및 상부의 두 번째 전도형 (예를 들면, p 또는 n형) 세그먼트(508B) 사이의 축 방향 pn 접합(508C)을 가졌다. 솔라 셀(501)에서, 전극들은 나노와이어(108)에 전기적 접촉을 제공한다. 예를 들면, 솔라 셀(501)는 상부 세그먼트(508B)와 전기적으로 접촉하는 상부 전극 (예를 들면, 투명 전극)(510)을 포함 할 수 있으며, 전기 전도성 또는 반도체 기관 (520)은 나노와이어의 하부 세그먼트(508A)에 전기적 접촉을 제공할 수 있다. 절연 또는 캡슐화 물질(512)은 나노와이어(108) 사이에 위치한다. 또는, 나노와이어는 축 방향 pn 접합보다 오히려 방사형을 포함하며, 이 경우 세그먼트(508B)는 pn 접합이 기관 캡처 표면에 실질적으로 수직으로 연장되도록 나노와이어 코어(508A)를 둘러싸는 셸로서 형성된다.
- [0040] 도 3은 본 발명의 실시예에 따른 정렬 및 조립된 나노와이어의 방법을 개략적으로 도시한 도면이다. 본 실시예에서, 유리 용기에 NaOH를 사용하여 pH 12.2로 조정된 수용액 5000 μ l를 채워 두께 H1을 갖는 하부 상(102)을 형성했다. 그 후, 사이클로펜탄은 1000 μ l를 첨가하여 두께 H2를 갖는 상부 상(104)을 형성했다. 이어서, 사이클로펜탄은 내의 나노와이어 분산액의 임의의 양의 나노와이어 분산액(108)을 첨가 하였다. 그 후, 사이클로펜탄은 내의 나노와이어(108)의 나노와이어 분산액의 임의량이 첨가되었다. 나노와이어(108)는 계면(106)에서 자발적으로 조립되도록 허용되었다. 유리 용기(100)는 급속히 냉각되었다.
- [0041] 나노와이어(108)의 조립체(112)는 기능화된 캡처 표면(116A)과 함께 기관(116)이 액체에 스며들게 하고 아래로부터 액체의 계면을 통해 그것을 옮기는 동시에, 계면(106)에 대해 거의 수직 방향(65-115도와 같은 $\theta > 60$ 도의 각도)인 기능화된 캡처 표면을 유지함으로써 전사되었다. 기능화된 캡처 표면(116A)은 폴리에틸렌이민 수용액 내 실리콘 웨이퍼의 조각을 코팅함으로써 제조되었다. 전사된 나노와이어(108) 조립체(112)와 함께 기능화된 표면은 온도 조건에서 건조되었다.
- [0042] 도 4는 본 발명의 실시예에 따른 나노와이어 조립체를 캡처 및 정렬하는 방법을 개략적으로 도시한 도면이다. 본 발명의 일 실시예에서, 기능화된 캡처 표면(116A)과 함께 기관은 액체/액체 2상 시스템에 담가진다. 나노와이어(108)의 조립체(112)는 기관(116)이 액체/액체 2상 시스템에서 빼내어 지면서 기관(116)의 캡처 표면(116A)에 캡처된다.
- [0043] 본 발명의 일 실시예에서, pH12.2로 조정된 5000 μ l의 수성 NaOH가 용기(100)에 첨가된다. 그 후, 1000 μ l의 사이클로펜탄이 액체/액체 2상 시스템(즉, 하부 상(102) 및 상부 상(104))을 확립하기 위해 첨가되었다. 임의의 양의 사이클로펜탄은 분산된 나노와이어(108)가 부드럽게 첨가되었다. 유리 용기(100)는 급속히 냉각되고 그 결과 나노와이어의 조립체(112)를 형성한다. 다수의 남아 있는 상부 상(104)은 그 후 수동으로 제거되었다.
- [0044] 나노와이어(108)의 계면 조립체(112)는 기능화된 캡처 표면(116A)을 갖는 기관(116)을 액체가 조립체(112)와의 접촉이 이루어질 때까지 낮춤으로써 전사되었다. 그 후, Langmuir-Schaefer 방법과 유사하게, 기능화된 캡처 표면(116A)을 액체 계면과 평행하게 유지하면서 기관(116)을 계면으로부터 끌어올렸다. 기능화된 캡처 표면은 하부 상(예를 들면, 농축 중합체)과의 접촉 시 응고되어 나노와이어(108)의 조립체(112)를 고정화하는 중합체 내에 실리콘 웨이퍼 조각을 코팅함으로써 준비되었다. 전사된 나노와이어(108)의 조립체(112)를 갖는 기능화된 캡처 표면(116A)을 온도 조건에서 건조시켰다.
- [0045] 또 다른 실시예에서, 베어(즉, 기능화 되지 않은) 나노와이어(108)가 처음 제공된다. 그 후 나노와이어(108)의 단부가 나노와이어(108)의 반대편 단부의 다른 기능화 화합물(118A, 118B)로 기능화될 수 있다. 하나의 단부는 ODT로 기능화 될 것이고, 타단부는 PPA로 기능화 될 수 있다. 나노와이어(108)는 에탄올, 아세톤, 정수로 세척될 수 있다. 그 후 나노와이어(108)는 다음 과정, 처리 또는 다음 사용을 위한 저장을 위해 다른 액체로 전사될 수 있다.
- [0046] 또 다른 실시예에서, 나노와이어(108)는 계면(106)의 조립체보다 먼저 기능화된다. 나노와이어(108)는 소수성인 하나의 세그먼트 및 소수성인 또 다른 세그먼트(예를 들면, 양친매성 나노와이어)를 만들기 위해 나노와이어

(108)의 반대편 단부에서 다른 기능화 화합물(118A, 118B)로 기능화될 수 있다. 본 발명의 일 실시예에서, 양친매성 나노와이어는 Au 나노 입자 시드(108A)로부터 성장된 GaAs 나노와이어 부분(108B)들과 같이 두 개의 다른 물질의 표면을 갖는 나노와이어(108)를 사용함으로써 만들어질 것이다. Au 나노 입자(108A)는 GaAs 표면과 관련하여 그의 소수성을 증가시키는 기능화 화합물로 처리(예를 들면, 기능화) 될 수 있다. 또한, 제2화학 물질은 GaAs 표면의 와이어 부분(108B)의 친수성을 증가시키는데 사용됨으로써 나노와이어의 양친매성 특성을 더욱 향상시킬 수 있다.

[0047] 본 발명의 실시예에서, 나노와이어(108)는 가장 긴 치수(즉, 가장 긴 축을 따르는 나노와이어 길이)가 액체 계면(106)에 수직으로 위치되는 방식으로 배향된다. 이 배향은, 예를 들어, 나노와이어 기능화와 상부 및 하부 액상(102, 104) 사이의 상호 작용으로 인해 얻어질 수 있다.

[0048] 본 발명의 일 실시예에서, 유리 용기(4.5 cm²의 액체 표면적을 가짐)를 용기(100)로 사용되었고, NaOH의 수용액을 하부 상(102)으로 사용하였다. 하부 상의 pH는 12로 조절되었다. 본 실시예에 사용된 기능화된 캡처 표면(116A)은 대략 70 도의 각도로 액체 계면(106)을 가로지르는 실리콘 웨이퍼 조각이다. 하부 상(102)을 용기(100)에 첨가한 후에, 사이클로펜타온 내의 기능화된 GaAs 나노와이어(108)를 포함하는 300 μ l의 새롭게 초음파 처리된 나노와이어 분산액을 하부 상(102)의 공기-액체 계면에 부드럽게 첨가하였다. 그곳에서, 분리된 상부 상(104)을 형성한다. 나노와이어(108)는 상부(104) 및 하부(102) 상 사이의 계면(106)에서 자발적으로 조립된다. 약 10분 후에, 기능화된 캡처 표면(116A)은 계면(106)을 통해 수평으로 상승되어 나노와이어(108)의 조립체(112)를 계면(106)으로부터 기능화된 캡처 표면(116)으로 전사한다.

[0049] 또 다른 예에서, 소수성으로 변형된 실리콘 웨이퍼가 기능화된 캡처 표면 (116A)으로 사용되었다. 기능화된 캡처 표면(116A)은 실리콘 웨이퍼 기판(116) 상에 얇은 티타늄 층을 스퍼터링 한 후에 얇은 금층을 스퍼터링함으로써 제조하였다. 이어서, 금으로 스퍼터링 된 웨이퍼(116)를 1시간 동안 에탄올 중의 1-옥타 데칸 티올 용액에 침지시켰다. 다음과 같은 차이점을 갖는 위와 유사한 실험으로부터 기능화된 표면은 나노와이어 조립체(112)의 캡처에 사용되었다. 약 20분 후, 전체 캡처 기판(116A)이 액체로 덮일 때 지 소수성으로 변경된 기판(116)을 거의 평행 방향(0-15도와 같은 $\theta < 20$ 도 기울기)이 되도록 액체 계면(106)까지 낮춤으로써 기능화된 캡처 표면(116A)로 전사가 실행되었다. 그 후 기능화된 캡처 표면(116A)은 천천히 올려졌고 건조되도록 허용되었다. 본 발명의 일 실시예에서, 만약 기판이 소수성 캡처 표면(116A)을 갖는다면, 이 표면은 계면에 대해 실질적으로 평행을 유지하게 된다(예를 들면, 0도와 같은 -10 내지 10도). 반면, 만약 기판이 친수성 캡처 표면(116A)을 갖는다면, 표면은 계면에 대해 실질적으로 수직을 유지하게 된다(예를 들면, 90도와 같은 80 내지 100도).

[0050] 또 다른 실시예에서, 유리 용기가 사용되었고, 하부 상(102)은 NaOH를 이용하여 pH가 12.5로 조정된 수용액이었다. 실험은 14°C의 온도에서 수행되었다. 265 μ l의 사이클로펜타온을 제2액체로 첨가하는 것이 과정에 포함되었다. 4분 후 사이클로펜타온 내 177 μ l의 나노와이어 분산액이 해밀턴 주사기를 사용해 첨가되었다. 본 실시예에서 실리콘 기판(116)은 캡처 표면(116A)으로서 사용되었다. 제2액체의 첨가로부터 18분 후, 나노와이어(108)의 계면 조립체(112)가 기판을 액체에 스며들게 하고 아래로부터 액체의 계면을 통해 그것을 옮기는 동시에, 액체 표면(106)에 대해 기울어진 캡처 표면(116A)을 유지함으로써 전사되었다. 캡처 표면(116A)은 전사된 나노와이어(108) 조립체(112)와 함께 기능화된 표면은 온도 조건에서 건조되었다.

[0051] 도 6-10은 본 발명의 실시예에 따른 정렬된 나노와이어 조립체의 전자 현미경(SEM) 사진이다. 도 6은 도 1에 도시되고 전술한 선택적 단계 5b를 포함하는 방법에 따라 제조된 나노와이어를 도시하는 현미경 사진이며, 랭뮤어-슈페어(Langmuir-Schaefer) 캡처가 뒤따른다. 도 7은 기판(116)의 캡처 표면(116A)이 폴리에틸렌 이민(PEI)로 기능화된 실시예를 도시한다. 도 8-10은 나노와이어(108)가 비기능화된 실리콘 기판(116)에 캡처된 실시예를 도시한다.

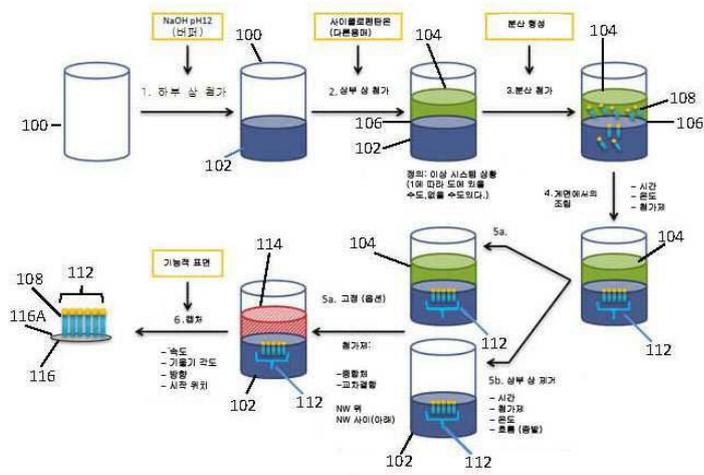
[0052] 명세서의 범위와 사상을 이탈하는 일이 없이 다양한 수정안들과 도한 대안들이 본 기술분야의 당업자에게 자명할 것이고, 또한 본 발명의 범위는 여기에서 주어진 실시예들에 제한되지 않는다는 것을 이해하여야만 한다. 본원에 인용된 모든 간행물, 특허 출원 및 특허는 그 전체가 본원에 참조로 포함된다.

부호의 설명

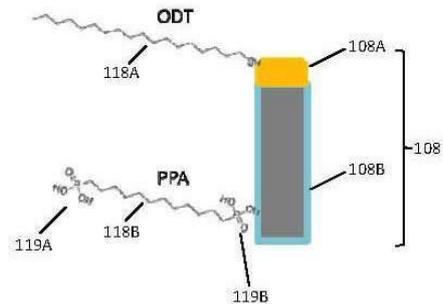
[0053] 108 - 나노와이어,
112 - 조립체.

도면

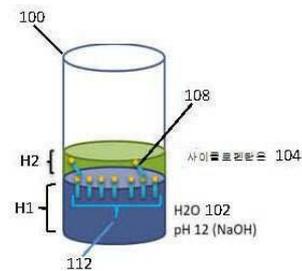
도면1



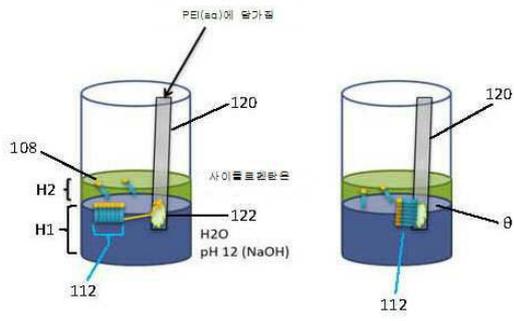
도면2



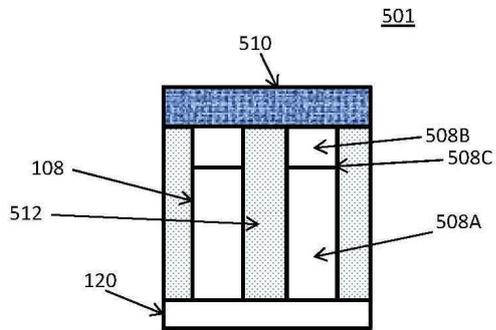
도면3



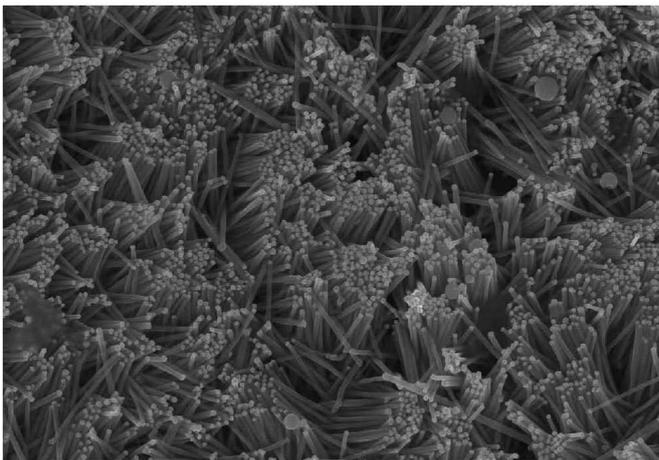
도면4



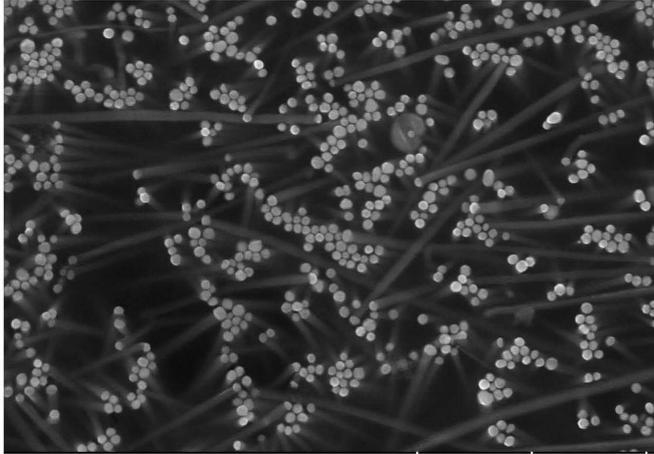
도면5



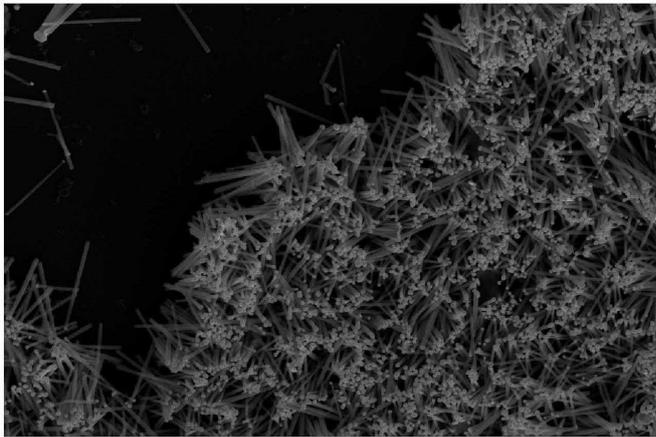
도면6



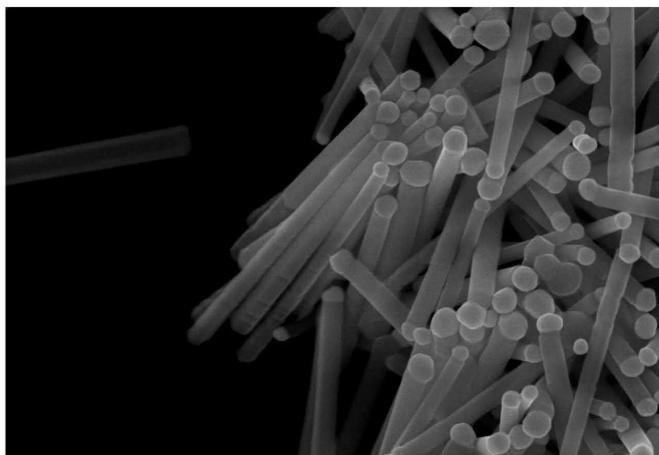
도면7



도면8



도면9



도면10

