



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2017-0049879
(43) 공개일자 2017년05월11일

- (51) 국제특허분류(Int. Cl.)
H01L 29/06 (2006.01) C01B 31/02 (2006.01)
C01B 31/04 (2006.01) H01L 21/02 (2006.01)
H01L 21/205 (2006.01) H01L 29/16 (2006.01)
H01L 51/00 (2006.01)
- (52) CPC특허분류
H01L 29/0669 (2013.01)
C01B 31/022 (2013.01)
- (21) 출원번호 10-2015-0150753
(22) 출원일자 2015년10월29일
심사청구일자 2015년10월29일
기술이전 희망 : 기술양도
- (71) 출원인
인천대학교 산학협력단
인천광역시 연수구 아카데미로 119 (송도동)
- (72) 발명자
진성훈
경기도 용인시 수지구 포은대로 219, 301동 301호(상현동, 서원마을3단지아이파크아파트)
- (74) 대리인
특허법인충정

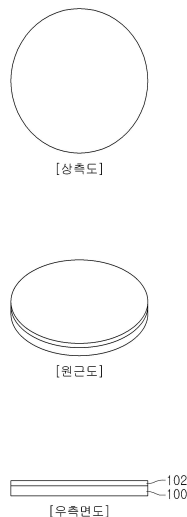
전체 청구항 수 : 총 19 항

(54) 발명의 명칭 용액공정 기반 탄소나노튜브 정렬 방법, 정렬형 반도체 탄소나노튜브 웨이퍼 제조 방법 및 정렬형 반도체 탄소나노튜브 웨이퍼

(57) 요약

본 발명의 일 실시예에 의한 용액공정 기반 탄소나노튜브 정렬 방법은, (a) 절연막이 형성된 기판을 준비하는 단계; (b) 상기 절연막상에 전기영동법 적용을 위한 전극 베이스층을 형성하는 단계; (c) 상기 전극 베이스층을 패터닝하여 전기영동 전극을 형성하는 단계; 및 (d) 상기 기판상에 탄소나노튜브가 포함된 용액을 인가한 후 전기영동을 실시하여 탄소나노튜브들을 정렬시키는 단계를 포함하고, 상기 전기영동 전극은 탄소 기반 전극을 포함하여, 탄소나노튜브들을 완벽하게 정렬시킬 수 있고 전기영동 전극과 정렬된 탄소나노튜브들 간에 단차가 발생하지 않아 두께가 일정한 탄소나노튜브 배선을 형성할 수 있으며, 전기영동 전극을 별도의 후속 공정으로 제거할 필요 없이 추후 회로 형성 공정시의 식각 공정으로 제거할 수 있어 공정을 단순화할 수 있으며, 정제 공정을 이용하여 웨이퍼 스케일의 초고순도 탄소나노튜브 웨이퍼를 형성할 수 있다.

대표도 - 도1



(52) CPC특허분류

C01B 31/0438 (2013.01)

H01L 21/02606 (2013.01)

H01L 21/205 (2013.01)

H01L 29/1606 (2013.01)

H01L 51/0048 (2013.01)

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호 NRF-2014R1A1A1038274

부처명 교육부

연구관리전문기관 한국연구재단

연구사업명 이공분야기초연구사업 (신진연구자 지원사업)

연구과제명 열모세관 유동현상 기반의 대면적, 고해상도 단일벽 탄소나노튜브 정제기술 개발

기 여 율 1/1

주관기관 인천대학교

연구기간 2015.07.01 ~ 2016.06.30

명세서

청구범위

청구항 1

- (a) 절연막이 형성된 기판을 준비하는 단계;
- (b) 상기 절연막상에 전기영동법 적용을 위한 전극 베이스층을 형성하는 단계;
- (c) 상기 전극 베이스층을 패터닝하여 전기영동 전극을 형성하는 단계; 및
- (d) 상기 기판상에 탄소나노튜브가 포함된 용액을 인가한 후 전기영동을 실시하여 탄소나노튜브들을 정렬시키는 단계를 포함하고,

상기 전기영동 전극은 탄소 기반 전극을 포함하는, 용액공정 기반 탄소나노튜브 정렬 방법.

청구항 2

청구항 1에 있어서,

상기 탄소 기반 전극은, 탄소나노튜브로 형성된 전극, 그래핀으로 형성된 전극 및 탄소나노튜브와 그래핀의 합성물로 형성된 전극으로 이루어진 군에서 선택된 어느 하나인, 용액공정 기반 탄소나노튜브 정렬 방법.

청구항 3

청구항 2에 있어서,

상기 탄소 기반 전극은 그래핀으로 형성된 전극이고,

상기 단계 (b)는,

- (i1) 화학기상증착법으로 형성된 그래핀/금속촉매기판을 준비하는 단계;
- (i2) 상기 그래핀/금속촉매기판을 전처리하는 단계;
- (i3) 상기 그래핀상에 기능성 지지층을 형성하는 단계;
- (i4) 상기 지지층에 탄성체 스탬프를 부착하는 단계;
- (i5) 상기 탄성체 스탬프를 이용하여 상기 지지층/그래핀을 상기 금속촉매기판으로부터 분리하는 단계;
- (i6) 상기 탄성체 스탬프에 부착되어 있는 상기 지지층/그래핀을 상기 절연막상에 배치하는 단계;
- (i7) 상기 탄성체 스탬프를 상기 지지층/그래핀으로부터 분리하는 단계; 및
- (i8) 상기 지지층을 제거하여 그래핀 기반의 전극 베이스층을 형성하는 단계를 포함하는, 용액공정 기반 탄소나노튜브 정렬 방법.

청구항 4

청구항 2에 있어서,

상기 탄소 기반 전극은 탄소나노튜브로 형성된 전극이고,

상기 단계 (b)는,

- (j1) 상기 절연막을 친수성으로 변화시키기 위하여 자외선(UV) 오존을 상기 절연막 위에 소정 시간동안 조사하는 단계;
- (j2) 상기 절연막에 대해 폴리-L-라이신(poly-L-lysine) 용액 기반의 표면 처리를 실시하는 단계;
- (j3) 상기 절연막이 형성된 기판을 탄소나노튜브가 포함된 용액 속에 소정 시간동안 디핑(dipping)하는 단계;

(j4) 상기 기판을 상기 용액에서 빼낸 후, 세정하는 단계; 및

(j5) 상기 기판을 건조시켜, 탄소나노튜브 기반의 전극 베이스층을 형성하는 단계를 포함하는, 용액공정 기반 탄소나노튜브 정렬 방법.

청구항 5

청구항 2에 있어서,

상기 탄소 기반 전극은 탄소나노튜브와 그래핀의 합성물로 형성된 전극이고,

상기 단계 (b)는,

(k1) 구리 기재상에 탄소나노튜브가 포함된 용액을 코팅한 후, 그래핀을 합성하여, 탄소나노튜브와 그래핀의 합성물을 준비하는 단계;

(k2) 상기 탄소나노튜브-그래핀 합성물/구리 기재를 전처리하는 단계;

(k3) 상기 탄소나노튜브-그래핀 합성물상에 기능성 지지층을 형성하는 단계;

(k4) 상기 지지층에 탄성체 스탬프를 부착하는 단계;

(k5) 상기 탄성체 스탬프를 이용하여 상기 지지층/탄소나노튜브-그래핀 합성물을 상기 구리 기재로부터 분리하는 단계;

(k6) 상기 탄성체 스탬프에 부착되어 있는 상기 지지층/탄소나노튜브-그래핀 합성물을 상기 절연막상에 배치하는 단계;

(k7) 상기 탄성체 스탬프를 상기 지지층/탄소나노튜브-그래핀 합성물로부터 분리하는 단계; 및

(k8) 상기 지지층을 제거하여 탄소나노튜브와 그래핀의 합성물 기반의 전극 베이스층을 형성하는 단계를 포함하는, 용액공정 기반 탄소나노튜브 정렬 방법.

청구항 6

청구항 1에 있어서,

상기 단계 (b) 이후에,

(b1) 상기 전극 베이스층상에 얼라인마크를 형성하는 단계를 더 포함하고,

상기 단계 (d) 이후에,

(d1) 상기 용액을 증발시키는 단계; 및

(d2) 잔존하는 탄소나노튜브를 제거하기 위하여 상기 기판을 세정하는 단계를 더 포함하는, 용액공정 기반 탄소나노튜브 정렬 방법.

청구항 7

청구항 1에 있어서,

상기 용액은 상기 탄소나노튜브들을 0.01 내지 0.1 중량%로 포함하고,

상기 용액에 포함된 탄소나노튜브들은 반도체 성분이 80% 이상인, 용액공정 기반 탄소나노튜브 정렬 방법.

청구항 8

청구항 1에 있어서,

상기 기판은 실리콘 기판을 포함하고,

상기 절연막은, 산화규소(SiO_2), 실리콘나이트라이드(SiN_x), 산화알루미늄(Al_2O_3) 및 산화하프늄(HfO_2)으로 이루어진 군에서 선택된 어느 하나인, 용액공정 기반 탄소나노튜브 정렬 방법.

청구항 9

- (a) 절연막이 형성된 기판을 준비하는 단계;
 - (b) 상기 절연막상에 전기영동법 적용을 위한 전극 베이스층을 형성하는 단계;
 - (c) 상기 전극 베이스층을 패터닝하여 전기영동 전극을 형성하는 단계;
 - (d) 상기 기판상에 탄소나노튜브가 포함된 용액을 인가한 후 전기영동을 실시하여 탄소나노튜브들을 정렬시키는 단계; 및
 - (e) 탄소나노튜브의 순도를 높이기 위하여 정제 공정을 진행하는 단계를 포함하고,
- 상기 전기영동 전극은 탄소 기반 전극을 포함하는, 정렬형 반도체 탄소나노튜브 웨이퍼 제조 방법.

청구항 10

청구항 9에 있어서,

상기 탄소 기반 전극은, 탄소나노튜브로 형성된 전극, 그래핀으로 형성된 전극 및 탄소나노튜브와 그래핀의 합성물로 형성된 전극으로 이루어진 군에서 선택된 어느 하나인, 정렬형 반도체 탄소나노튜브 웨이퍼 제조 방법.

청구항 11

청구항 10에 있어서,

상기 탄소 기반 전극은 그래핀으로 형성된 전극이고,

상기 단계 (b)는,

- (i1) 화학기상증착법으로 형성된 그래핀/금속촉매기판을 준비하는 단계;
- (i2) 상기 그래핀/금속촉매기판을 전처리하는 단계;
- (i3) 상기 그래핀상에 기능성 지지층을 형성하는 단계;
- (i4) 상기 지지층에 탄성체 스탬프를 부착하는 단계;
- (i5) 상기 탄성체 스탬프를 이용하여 상기 지지층/그래핀을 상기 금속촉매기판으로부터 분리하는 단계;
- (i6) 상기 탄성체 스탬프에 부착되어 있는 상기 지지층/그래핀을 상기 절연막상에 배치하는 단계;
- (i7) 상기 탄성체 스탬프를 상기 지지층/그래핀으로부터 분리하는 단계; 및
- (i8) 상기 지지층을 제거하여 그래핀 기반의 전극 베이스층을 형성하는 단계를 포함하는, 정렬형 반도체 탄소나노튜브 웨이퍼 제조 방법.

청구항 12

청구항 10에 있어서,

상기 탄소 기반 전극은 탄소나노튜브로 형성된 전극이고,

상기 단계 (b)는,

- (j1) 상기 절연막을 친수성으로 변화시키기 위하여 자외선(UV) 오존을 상기 절연막 위에 소정 시간동안 조사하는 단계;
- (j2) 상기 절연막에 대해 폴리-L-라이신(poly-L-lysine) 용액 기반의 표면 처리를 실시하는 단계;
- (j3) 상기 절연막이 형성된 기판을 탄소나노튜브가 포함된 용액 속에 소정 시간동안 디핑(dipping)하는 단계;
- (j4) 상기 기판을 상기 용액에서 빼낸 후, 세정하는 단계; 및
- (j5) 상기 기판을 건조시켜, 탄소나노튜브 기반의 전극 베이스층을 형성하는 단계를 포함하는, 정렬형 반도체 탄소나노튜브 웨이퍼 제조 방법.

청구항 13

청구항 10에 있어서,

상기 탄소 기반 전극은 탄소나노튜브와 그래핀의 합성물로 형성된 전극이고,

상기 단계 (b)는,

(k1) 구리 기재상에 탄소나노튜브가 포함된 용액을 코팅한 후, 그래핀을 합성하여, 탄소나노튜브와 그래핀의 합성물을 준비하는 단계;

(k2) 상기 탄소나노튜브-그래핀 합성물/구리 기재를 전처리하는 단계;

(k3) 상기 탄소나노튜브-그래핀 합성물상에 기능성 지지층을 형성하는 단계;

(k4) 상기 지지층에 탄성체 스탬프를 부착하는 단계;

(k5) 상기 탄성체 스탬프를 이용하여 상기 지지층/탄소나노튜브-그래핀 합성물을 상기 구리 기재로부터 분리하는 단계;

(k6) 상기 탄성체 스탬프에 부착되어 있는 상기 지지층/탄소나노튜브-그래핀 합성물을 상기 절연막상에 배치하는 단계;

(k7) 상기 탄성체 스탬프를 상기 지지층/탄소나노튜브-그래핀 합성물로부터 분리하는 단계; 및

(k8) 상기 지지층을 제거하여 탄소나노튜브와 그래핀의 합성물 기반의 전극 베이스층을 형성하는 단계를 포함하는, 정렬형 반도체 탄소나노튜브 웨이퍼 제조 방법.

청구항 14

청구항 9에 있어서,

상기 단계 (b) 이후에,

(b1) 상기 전극 베이스층상에 얼라인마크를 형성하는 단계를 더 포함하고,

상기 단계 (d) 이후에,

(d1) 상기 용액을 증발시키는 단계; 및

(d2) 잔존하는 탄소나노튜브를 제거하기 위하여 상기 기판을 세정하는 단계를 더 포함하는, 정렬형 반도체 탄소나노튜브 웨이퍼 제조 방법.

청구항 15

청구항 9에 있어서,

상기 단계 (e)는,

열유동 모세관 현상 기반의 탄소나노튜브 정제 방법 또는 마이크로웨이브 기반의 탄소나노튜브 정제 방법을 이용한 정제 공정을 진행하는 단계를 포함하는, 정렬형 반도체 탄소나노튜브 웨이퍼 제조 방법.

청구항 16

청구항 9에 있어서,

상기 용액은 상기 탄소나노튜브들을 0.01 내지 0.1 중량%로 포함하고,

상기 용액에 포함된 탄소나노튜브들은 반도체 성분이 80% 이상인, 용액공정 기반 탄소나노튜브 정렬 방법.

청구항 17

청구항 9에 있어서,

상기 기판은 실리콘 기판을 포함하고,

상기 절연막은, 산화규소(SiO_2), 실리콘나이트라이드(SiN_x), 산화알루미늄(Al_2O_3) 및 산화하프늄(HfO_2)으로 이루어진 군에서 선택된 어느 하나인, 용액공정 기반 탄소나노튜브 정렬 방법.

청구항 18

절연막이 형성된 기판:

상기 절연막상에 형성된 전기영동 전극; 및

상기 전기영동 전극 사이에 정렬된 다발 형태의 탄소나노튜브들을 포함하는 탄소나노튜브 배선들을 포함하고,

상기 전기영동 전극은 탄소 기반 전극을 포함하는, 정렬형 반도체 탄소나노튜브 웨이퍼.

청구항 19

청구항 18에 있어서,

상기 탄소 기반 전극은, 탄소나노튜브로 형성된 전극, 그래핀으로 형성된 전극 및 탄소나노튜브와 그래핀의 합성물로 형성된 전극으로 이루어진 군에서 선택된 어느 하나인, 정렬형 반도체 탄소나노튜브 웨이퍼.

발명의 설명

기술 분야

[0001] 본 발명은 차세대 반도체 소재로 각광받고 있는 반도체형 탄소나노튜브를 용액공정 기반으로 기판에 정렬하고 초고순도로 정제하여 탄소나노튜브 회로 구현을 용이하게 할 수 있는 용액공정 기반 탄소나노튜브 정렬 방법, 정렬형 반도체 탄소나노튜브 웨이퍼 제조 방법 및 정렬형 반도체 탄소나노튜브 웨이퍼에 관한 것이다.

배경 기술

[0002] 반도체형 탄소나노튜브는 기존의 실리콘 반도체를 대체할 수 있고 이를 능가하는 집적도 및 높은 전기전도도를 가지고 있어, DRAM, 비휘발성 메모리 등과 같은 메모리와 RF 회로 및 바이오 센서 등의 전자 회로에 적용될 수 있지만, 이러한 반도체 탄소나노튜브들을 단차없이 두께가 일정하고 미세한 선폭을 갖도록 정렬시키는 것은 용이하지 않기 때문에, 최소 3인치 내지 12인치의 웨이퍼 스케일로 초고순도의 탄소나노튜브 배선을 형성하는 데 기술적인 한계가 있어왔다.

[0003] 하기의 특허문헌 1은 용매에 분산된 탄소나노튜브들을 포함하는 분산용액을 준비하는 제1단계, 상기 분산용액을 이용하여 기재 상에 액적을 형성하는 제2 단계, 두 개의 전극을 이용하여 상기 액적에 전기장을 인가하고 탄소나노튜브들을 다발의 형태로 배열시키는 제3단계 및 상기 액적에 포함되어 있는 분산용액의 용매를 증발시켜 선형의 탄소나노튜브 미세배선을 형성하는 제4단계를 포함하여, 긴 배선이 형성됨과 동시에 전기전도도가 뛰어난 배선을 형성시킬 수 있고, 배선을 형성하는 데에 소요시간을 단축시킬 수 있는, 탄소나노튜브 미세배선 형성방법 및 이에 의하여 형성된 미세배선기판을 개시하고 있다.

선행기술문헌

특허문헌

[0004] (특허문헌 0001) KR 10-1522225 B1

발명의 내용

해결하려는 과제

[0005] 본 발명이 해결하고자 하는 과제는, 탄소나노튜브들을 완벽하게 정렬시킬 수 있고 단차가 발생하지 않아 두께가 일정한 탄소나노튜브 배선을 웨이퍼 스케일로 형성할 수 있으며, 전기영동(DEP: electrophoresis) 전극을 별도의 후속 공정으로 제거할 필요없이 추후 회로 형성 공정시의 식각 공정으로 일괄적으로 제거할 수 있어 공정을 단순화할 수 있는, 용액공정 기반 탄소나노튜브 정렬 방법을 제공하는 것이다.

[0006] 본 발명이 해결하고자 하는 다른 과제는, 탄소나노튜브들을 완벽하게 정렬시킬 수 있고 단차가 발생하지 않아 두께가 일정한 탄소나노튜브 배선을 웨이퍼 스케일로 형성할 수 있으며, 전기영동 전극을 별도의 후속 공정으로 제거할 필요없이 추후 회로 형성 공정시의 식각 공정으로 일괄적으로 제거할 수 있어 공정을 단순화할 수 있고, 정제 공정을 이용하여 웨이퍼 스케일의 초고순도 탄소나노튜브 웨이퍼를 형성할 수 있는, 정렬형 반도체 탄소나노튜브 웨이퍼 제조 방법을 제공하는 것이다.

[0007] 본 발명이 해결하고자 하는 또 다른 과제는, 탄소나노튜브들이 완벽하게 정렬되고 단차가 발생하지 않아 두께가 일정한 탄소나노튜브 배선이 웨이퍼 스케일로 형성될 수 있으며, 전기영동 전극이 별도의 후속 공정으로 제거될 필요없이 추후 회로 형성 공정시의 식각 공정으로 일괄적으로 제거될 수 있고, 정제 공정을 이용하여 웨이퍼 스케일의 초고순도 탄소나노튜브 배선이 형성되어 있는, 정렬형 반도체 탄소나노튜브 웨이퍼를 제공하는 것이다.

과제의 해결 수단

[0008] 상기 과제를 해결하기 위한 본 발명의 일 실시예에 의한 용액공정 기반 탄소나노튜브 정렬 방법은,

[0009] (a) 절연막이 형성된 기판을 준비하는 단계;

[0010] (b) 상기 절연막상에 전기영동법 적용을 위한 전극 베이스층을 형성하는 단계;

[0011] (c) 상기 전극 베이스층을 패터닝하여 전기영동 전극을 형성하는 단계; 및

[0012] (d) 상기 기판상에 탄소나노튜브가 포함된 용액을 인가한 후 전기영동을 실시하여 탄소나노튜브들을 정렬시키는 단계를 포함하고,

[0013] 상기 전기영동 전극은 탄소 기반 전극을 포함한다.

[0014] 본 발명의 일 실시예에 의한 용액공정 기반 탄소나노튜브 정렬 방법에 있어서, 상기 탄소 기반 전극은, 탄소나노튜브로 형성된 전극, 그래핀으로 형성된 전극 및 탄소나노튜브와 그래핀의 합성물로 형성된 전극으로 이루어진 군에서 선택된 어느 하나일 수 있다.

[0015] 또한, 본 발명의 일 실시예에 의한 용액공정 기반 탄소나노튜브 정렬 방법에 있어서, 상기 탄소 기반 전극은 그래핀으로 형성된 전극이고,

[0016] 상기 단계 (b)는,

[0017] (i1) 화학기상증착법으로 형성된 그래핀/금속촉매기판을 준비하는 단계;

[0018] (i2) 상기 그래핀/금속촉매기판을 전처리하는 단계;

[0019] (i3) 상기 그래핀상에 기능성 지지층을 형성하는 단계;

[0020] (i4) 상기 지지층에 탄성체 스탬프를 부착하는 단계;

[0021] (i5) 상기 탄성체 스탬프를 이용하여 상기 지지층/그래핀을 상기 금속촉매기판으로부터 분리하는 단계;

[0022] (i6) 상기 탄성체 스탬프에 부착되어 있는 상기 지지층/그래핀을 상기 절연막상에 배치하는 단계;

[0023] (i7) 상기 탄성체 스탬프를 상기 지지층/그래핀으로부터 분리하는 단계; 및

[0024] (i8) 상기 지지층을 제거하여 그래핀 기반의 전극 베이스층을 형성하는 단계를 포함할 수 있다.

[0025] 또한, 본 발명의 일 실시예에 의한 용액공정 기반 탄소나노튜브 정렬 방법에 있어서, 상기 탄소 기반 전극은 탄소나노튜브로 형성된 전극이고,

[0026] 상기 단계 (b)는,

[0027] (j1) 상기 절연막을 친수성으로 변화시키기 위하여 자외선(UV) 오존을 상기 절연막 위에 소정 시간동안 조사하는 단계;

[0028] (j2) 상기 절연막에 대해 폴리-L-라이신(poly-L-lysine) 용액 기반의 표면 처리를 실시하는 단계;

[0029] (j3) 상기 절연막이 형성된 기판을 탄소나노튜브가 포함된 용액 속에 소정 시간동안 디핑(dipping)하는 단계;

[0030] (j4) 상기 기판을 상기 용액에서 빼낸 후, 세정하는 단계; 및

- [0031] (j5) 상기 기판을 건조시켜, 탄소나노튜브 기반의 전극 베이스층을 형성하는 단계를 포함할 수 있다.
- [0032] 또한, 본 발명의 일 실시예에 의한 용액공정 기반 탄소나노튜브 정렬 방법에 있어서, 상기 탄소 기반 전극은 탄소나노튜브와 그래핀의 합성물로 형성된 전극이고,
- [0033] 상기 단계 (b)는,
- [0034] (k1) 구리 기재상에 탄소나노튜브가 포함된 용액을 코팅한 후, 그래핀을 합성하여, 탄소나노튜브와 그래핀의 합성물을 준비하는 단계;
- [0035] (k2) 상기 탄소나노튜브-그래핀 합성물/구리 기재를 전처리하는 단계;
- [0036] (k3) 상기 탄소나노튜브-그래핀 합성물상에 기능성 지지층을 형성하는 단계;
- [0037] (k4) 상기 지지층에 탄성체 스탬프를 부착하는 단계;
- [0038] (k5) 상기 탄성체 스탬프를 이용하여 상기 지지층/탄소나노튜브-그래핀 합성물을 상기 구리 기재로부터 분리하는 단계;
- [0039] (k6) 상기 탄성체 스탬프에 부착되어 있는 상기 지지층/탄소나노튜브-그래핀 합성물을 상기 절연막상에 배치하는 단계;
- [0040] (k7) 상기 탄성체 스탬프를 상기 지지층/탄소나노튜브-그래핀 합성물로부터 분리하는 단계; 및
- [0041] (k8) 상기 지지층을 제거하여 탄소나노튜브와 그래핀의 합성물 기반의 전극 베이스층을 형성하는 단계를 포함할 수 있다
- [0042] 또한, 본 발명의 일 실시예에 의한 용액공정 기반 탄소나노튜브 정렬 방법은, 상기 단계 (b) 이후에,
- [0043] (b1) 상기 전극 베이스층상에 얼라인마크를 형성하는 단계를 더 포함하고,
- [0044] 상기 단계 (d) 이후에,
- [0045] (d1) 상기 용액을 증발시키는 단계; 및
- [0046] (d2) 잔존하는 탄소나노튜브를 제거하기 위하여 상기 기판을 세정하는 단계를 더 포함할 수 있다.
- [0047] 또한, 본 발명의 일 실시예에 의한 용액공정 기반 탄소나노튜브 정렬 방법에 있어서, 상기 용액은 상기 탄소나노튜브들을 0.01 내지 0.1 중량%로 포함하고, 상기 용액에 포함된 탄소나노튜브들은 반도체 성분이 80% 이상일 수 있다.
- [0048] 또한, 본 발명의 일 실시예에 의한 용액공정 기반 탄소나노튜브 정렬 방법에 있어서, 상기 기판은 실리콘 기판을 포함하고,
- [0049] 상기 절연막은, 산화규소(SiO_2), 실리콘나이트라이드(SiN_x), 산화알루미늄(Al_2O_3) 및 산화하프늄(HfO_2)으로 이루어진 군에서 선택된 어느 하나일 수 있다.
- [0050] 상기 다른 과제를 해결하기 위한 본 발명의 일 실시예에 의한 정렬형 반도체 탄소나노튜브 웨이퍼 제조 방법은,
- [0051] (a) 절연막이 형성된 기판을 준비하는 단계;
- [0052] (b) 상기 절연막상에 전기영동법 적용을 위한 전극 베이스층을 형성하는 단계;
- [0053] (c) 상기 전극 베이스층을 패터닝하여 전기영동 전극을 형성하는 단계;
- [0054] (d) 상기 기판상에 탄소나노튜브가 포함된 용액을 인가한 후 전기영동을 실시하여 탄소나노튜브들을 정렬시키는 단계; 및
- [0055] (e) 탄소나노튜브의 순도를 높이기 위하여 정제 공정을 진행하는 단계를 포함하고,
- [0056] 상기 전기영동 전극은 탄소 기반 전극을 포함한다.
- [0057] 본 발명의 일 실시예에 의한 정렬형 반도체 탄소나노튜브 웨이퍼 제조 방법에 있어서, 상기 탄소 기반 전극은, 탄소나노튜브로 형성된 전극, 그래핀으로 형성된 전극 및 탄소나노튜브와 그래핀의 합성물로 형성된 전극으로 이루어진 군에서 선택된 어느 하나일 수 있다.

- [0058] 또한, 본 발명의 일 실시예에 의한 정렬형 반도체 탄소나노튜브 웨이퍼 제조 방법에 있어서, 상기 탄소 기반 전극은 그래핀으로 형성된 전극이고,
- [0059] 상기 단계 (b)는,
- [0060] (i1) 화학기상증착법으로 형성된 그래핀/금속촉매기판을 준비하는 단계;
- [0061] (i2) 상기 그래핀/금속촉매기판을 전처리하는 단계;
- [0062] (i3) 상기 그래핀상에 기능성 지지층을 형성하는 단계;
- [0063] (i4) 상기 지지층에 탄성체 스탬프를 부착하는 단계;
- [0064] (i5) 상기 탄성체 스탬프를 이용하여 상기 지지층/그래핀을 상기 금속촉매기판으로부터 분리하는 단계;
- [0065] (i6) 상기 탄성체 스탬프에 부착되어 있는 상기 지지층/그래핀을 상기 절연막상에 배치하는 단계;
- [0066] (i7) 상기 탄성체 스탬프를 상기 지지층/그래핀으로부터 분리하는 단계; 및
- [0067] (i8) 상기 지지층을 제거하여 그래핀 기반의 전극 베이스층을 형성하는 단계를 포함할 수 있다.
- [0068] 또한, 본 발명의 일 실시예에 의한 정렬형 반도체 탄소나노튜브 웨이퍼 제조 방법에 있어서, 상기 탄소 기반 전극은 탄소나노튜브로 형성된 전극이고,
- [0069] 상기 단계 (b)는,
- [0070] (j1) 상기 절연막을 친수성으로 변화시키기 위하여 자외선(UV) 오존을 상기 절연막 위에 소정 시간동안 조사하는 단계;
- [0071] (j2) 상기 절연막에 대해 폴리-L-라이신(poly-L-lysine) 용액 기반의 표면 처리를 실시하는 단계;
- [0072] (j3) 상기 절연막이 형성된 기판을 탄소나노튜브가 포함된 용액 속에 소정 시간동안 디핑(dipping)하는 단계;
- [0073] (j4) 상기 기판을 상기 용액에서 빼낸 후, 세정하는 단계; 및
- [0074] (j5) 상기 기판을 건조시켜, 탄소나노튜브 기반의 전극 베이스층을 형성하는 단계를 포함할 수 있다.
- [0075] 또한, 본 발명의 일 실시예에 의한 정렬형 반도체 탄소나노튜브 웨이퍼 제조 방법에 있어서, 상기 탄소 기반 전극은 탄소나노튜브와 그래핀의 합성물로 형성된 전극이고,
- [0076] 상기 단계 (b)는,
- [0077] (k1) 구리 기재상에 탄소나노튜브가 포함된 용액을 코팅한 후, 그래핀을 합성하여, 탄소나노튜브와 그래핀의 합성물을 준비하는 단계;
- [0078] (k2) 상기 탄소나노튜브-그래핀 합성물/구리 기재를 전처리하는 단계;
- [0079] (k3) 상기 탄소나노튜브-그래핀 합성물상에 기능성 지지층을 형성하는 단계;
- [0080] (k4) 상기 지지층에 탄성체 스탬프를 부착하는 단계;
- [0081] (k5) 상기 탄성체 스탬프를 이용하여 상기 지지층/탄소나노튜브-그래핀 합성물을 상기 구리 기재로부터 분리하는 단계;
- [0082] (k6) 상기 탄성체 스탬프에 부착되어 있는 상기 지지층/탄소나노튜브-그래핀 합성물을 상기 절연막상에 배치하는 단계;
- [0083] (k7) 상기 탄성체 스탬프를 상기 지지층/탄소나노튜브-그래핀 합성물로부터 분리하는 단계; 및
- [0084] (k8) 상기 지지층을 제거하여 탄소나노튜브와 그래핀의 합성물 기반의 전극 베이스층을 형성하는 단계를 포함할 수 있다.
- [0085] 또한, 본 발명의 일 실시예에 의한 정렬형 반도체 탄소나노튜브 웨이퍼 제조 방법은, 상기 단계 (b) 이후에,
- [0086] (b1) 상기 전극 베이스층상에 얼라인마크를 형성하는 단계를 더 포함하고,
- [0087] 상기 단계 (d) 이후에,

- [0088] (d1) 상기 용액을 증발시키는 단계; 및
- [0089] (d2) 잔존하는 탄소나노튜브를 제거하기 위하여 상기 기판을 세정하는 단계를 더 포함할 수 있다.
- [0090] 또한, 본 발명의 일 실시예에 의한 정렬형 반도체 탄소나노튜브 웨이퍼 제조 방법에 있어서, 상기 단계 (e)는,
- [0091] 열유동 모세관 현상 기반의 탄소나노튜브 정제 방법 또는 마이크로웨이브 기반의 탄소나노튜브 정제 방법을 이용한 정제 공정을 진행하는 단계를 포함할 수 있다.
- [0092] 또한, 본 발명의 일 실시예에 의한 정렬형 반도체 탄소나노튜브 웨이퍼 제조 방법에 있어서, 상기 용액은 상기 탄소나노튜브들을 0.01 내지 0.1 중량%로 포함하고, 상기 용액에 포함된 탄소나노튜브들은 반도체 성분이 80% 이상일 수 있다.
- [0093] 또한, 본 발명의 일 실시예에 의한 정렬형 반도체 탄소나노튜브 웨이퍼 제조 방법에 있어서, 상기 기판은 실리콘 기판을 포함하고,
- [0094] 상기 절연막은, 산화규소(SiO_2), 실리콘나이트라이드(SiN_x), 산화알루미늄(Al_2O_3) 및 산화하프늄(HfO_2)으로 이루어진 군에서 선택된 어느 하나일 수 있다.
- [0095] 상기 또 다른 과제를 해결하기 위한 본 발명의 일 실시예에 의한 정렬형 반도체 탄소나노튜브 웨이퍼는,
- [0096] 절연막이 형성된 기판;
- [0097] 상기 절연막상에 형성된 전기영동 전극; 및
- [0098] 상기 전기영동 전극 사이에 정렬된 다발 형태의 탄소나노튜브들을 포함하는 탄소나노튜브 배선들을 포함하고,
- [0099] 상기 전기영동 전극은 탄소 기반 전극을 포함한다.
- [0100] 본 발명의 일 실시예에 의한 정렬형 반도체 탄소나노튜브 웨이퍼에 있어서, 상기 탄소 기반 전극은, 탄소나노튜브로 형성된 전극, 그래핀으로 형성된 전극 및 탄소나노튜브와 그래핀의 합성물로 형성된 전극으로 이루어진 군에서 선택된 어느 하나일 수 있다.

발명의 효과

- [0101] 본 발명의 일 실시예에 의한 용액공정 기반 탄소나노튜브 정렬 방법, 정렬형 반도체 탄소나노튜브 웨이퍼 제조 방법 및 정렬형 반도체 탄소나노튜브 웨이퍼에 의하면, 탄소나노튜브들을 완벽하게 정렬시킬 수 있고 전기영동 전극과 정렬된 탄소나노튜브들 간에 단차가 발생하지 않아 두께가 일정한 탄소나노튜브 배선을 웨이퍼 스케일로 형성할 수 있으며, 전기영동 전극을 별도의 후속 공정으로 제거할 필요없이 추후 회로 형성 공정시의 식각 공정으로 일괄적으로 제거할 수 있어 공정을 단순화할 수 있으며, 정제 공정을 이용하여 웨이퍼 스케일의 초고순도 탄소나노튜브 웨이퍼를 형성할 수 있다.

도면의 간단한 설명

- [0102] 도 1 내지 도 6은 본 발명의 일 실시예에 의한 용액공정 기반 탄소나노튜브 정렬 방법의 공정도.
- 도 7은 본 발명의 일 실시예에 의한 정렬형 반도체 탄소나노튜브 웨이퍼를 도시한 도면.
- 도 8a는 본 발명의 일 실시예에 의한 용액공정 기반 탄소나노튜브 정렬 방법에 의해 정렬된 탄소나노튜브를 도시한 도면.
- 도 8b는 전기영동 전극으로서 금속전극을 사용하는 일반적인 용액공정 기반 탄소나노튜브 정렬 방법에 의해 정렬된 탄소나노튜브를 도시한 도면.
- 도 9a 내지 도 9h는 그래핀을 이용하여 전기영동법 적용을 위한 전극 베이스층을 형성하는 방법을 설명하기 위한 도면.
- 도 10 및 도 11은 열유동 모세관 현상 기반의 탄소나노튜브 정제 방법을 설명하기 위한 도면.
- 도 12는 마이크로웨이브 기반의 탄소나노튜브 정제 방법을 설명하기 위한 도면.
- 도 13은 금속 전극을 전기영동 전극으로서 사용하는 경우 정렬된 탄소나노튜브의 전자현미경 사진.

도 14는 탄소나노튜브 전극을 전기영동 전극으로서 사용하는 경우 정렬된 탄소나노튜브의 전자현미경 사진.

도 15는 탄소나노튜브와 그래핀의 합성물을 전기영동 전극으로서 사용하는 경우 정렬된 탄소나노튜브의 전자현미경 사진.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

- [0103] 본 발명의 목적, 특정한 장점들 및 신규한 특징들은 첨부된 도면들과 연관되어지는 이하의 상세한 설명과 바람직한 실시예들로부터 더욱 명백해질 것이다.
- [0104] 이에 앞서 본 명세서 및 청구범위에 사용된 용어나 단어는 통상적이고 사전적인 의미로 해석되어서는 아니되며, 발명자가 그 자신의 발명을 가장 최선의 방법으로 설명하기 위해 용어의 개념을 적절하게 정의할 수 있는 원칙에 입각하여 본 발명의 기술적 사상에 부합되는 의미와 개념으로 해석되어야 한다.
- [0105] 본 명세서에서 각 도면의 구성요소들에 참조번호를 부가함에 있어서, 동일한 구성 요소들에 한해서는 비록 다른 도면상에 표시되더라도 가능한 한 동일한 번호를 가지도록 하고 있음에 유의하여야 한다.
- [0106] 또한, "제1", "제2", "일면", "타면" 등의 용어는, 하나의 구성요소를 다른 구성요소로부터 구별하기 위해 사용되는 것으로, 구성요소가 상기 용어들에 의해 제한되는 것은 아니다.
- [0107] 이하, 본 발명을 설명함에 있어, 본 발명의 요지를 불필요하게 흐릴 수 있는 관련된 공지 기술에 대한 상세한 설명은 생략한다.
- [0108] 이하, 첨부된 도면을 참조하여 본 발명의 바람직한 실시형태를 상세히 설명하기로 한다.
- [0109] 도 1 내지 도 6은 본 발명의 일 실시예에 의한 용액공정 기반 탄소나노튜브 정렬 방법의 공정도이다.
- [0110] 도 1을 참조하면, 절연막(102)이 형성된 기판(100)을 준비한다. 상기 절연막(102)은 서멀 옥사이드(thermal oxide)막을 포함할 수 있다.
- [0111] 본 발명의 실시예에서 상기 기판(100)은 실리콘 기판이지만, 본 발명의 실시예는 이에 한정되지 않는다.
- [0112] 또한, 상기 절연막(102)은, 산화규소(SiO_2), 실리콘나이트라이드(SiN_x), 산화알루미늄(Al_2O_3) 및 산화하프늄(HfO_2)으로 이루어진 군에서 선택된 어느 하나일 수 있다.
- [0113] 도 2를 참조하면, 상기 절연막(102)상에 전기영동(DEP: electrophoresis)법 적용을 위한 전극 베이스층(104)을 형성한다.
- [0114] 상기 전극 베이스층(104)은, 탄소나노튜브, 그래핀 및 탄소나노튜브와 그래핀의 합성물로 이루어진 군에서 선택된 하나와 같은 탄소 기반 물질로 형성될 수 있다.
- [0115] 상기 전극 베이스층(104)을 형성하는 방법에 대해서는 추후 상세히 설명하기로 한다.
- [0116] 도 3을 참조하면, 상기 전극 베이스층(104)상에 얼라인마크(106)를 형성한다. 상기 얼라인마크(106)는 전극 위치 및 후속 공정을 위한 것이다.
- [0117] 도 4를 참조하면, 사진공정 기반의 마스크 형성 방법 및 O_2 플라즈마 에칭을 이용하여 상기 전극 베이스층(104)을 패터닝함으로써 전기영동 전극(108)을 형성한다.
- [0118] 도 5를 참조하면, 상기 기판(100)상에 탄소나노튜브들이 포함된 용액(미도시)을 인가한 후 전기영동을 실시하여 탄소나노튜브들(110)을 정렬시키고, 상기 용액을 증발시킨다.
- [0119] 본 발명의 일 실시예에서, 상기 용액은 상기 탄소나노튜브들을 0.01 내지 0.1 중량%로 포함하고, 투과도가 약 80%이며, 면저항이 약 400 내지 500 ohm/sqr 이고, 상기 용액에 포함된 탄소나노튜브의 반도체 성분은 80% 이상이며, 상기 탄소나노튜브의 평균 길이는 약 10 μm 이고, 상기 용액은 H_2O 용액에 계면 활성제와 함께 분산된 용액이다.
- [0120] 또한, 상기 용액에 포함된 탄소나노튜브는 단일벽 탄소나노튜브들 또는 다중벽 탄소나노튜브들을 포함할 수 있다.
- [0121] 도 1 내지 도 5의 공정에 의해 기판(100)의 절연막(102)상에 탄소나노튜브들(110)이 정렬된 탄소나노튜브 배선

이 형성된다.

- [0122] 이해를 용이하게 하기 위하여, 도 5의 원근도에서 전기영동 전극(108) 사이의 공간에 있는 탄소나노튜브들(110)과 절연막(102) 사이에 소정의 공간이 존재하는 것으로 도시되어 있지만, 실제로는 도 8a에 도시된 바와 같이, 전기영동 전극(108) 사이의 공간에 있는 탄소나노튜브들(110)은 절연막(102)상에 정렬되어 있다.
- [0123] 도 6을 참조하면, DI(deionize) 워터(water) 기반의 이온이 없는 순수한 세정액(112)을 기관(100)에 투여하여 기관(100)을 세정하고 린스 작업을 진행한다.
- [0124] 도 1 내지 도 6에 도시된 바와 같이 본 발명의 일 실시예에 의한 용액공정 기반 탄소나노튜브 정렬 방법에 의하면, 전기영동 전극(108)이 탄소나노튜브로 형성된 전극, 그래핀으로 형성된 전극 및 탄소나노튜브와 그래핀의 합성물로 형성된 전극으로 이루어진 군에서 선택된 하나와 같이 두께가 얇은 탄소 기반 전극으로 형성되기 때문에, 도 8a에 도시된 바와 같이, 탄소나노튜브들(110)을 완벽하게 정렬시킬 수 있고 전기영동 전극(108)과 탄소나노튜브들(110) 간에 단차가 발생하지 않아 두께가 일정하고 미세한 폭을 가지며 완벽하게 정렬된 탄소나노튜브 배선을 형성할 수 있다.
- [0125] 또한, 상기 전기영동 전극(108)은 회로 배선으로 사용될 탄소나노튜브들(110)과 동일하게 탄소 기반의 전극으로 형성되기 때문에, 전기영동 전극(108)을 별도의 후속 공정으로 제거할 필요없이 추후 도 7에 도시된 정렬형 반도체 탄소나노튜브 웨이퍼를 이용하여 회로를 형성할 때 사용되는 식각 공정으로 전기영동 전극(108)을 일괄적으로 제거할 수 있어 공정을 단순화할 수 있다.
- [0126] 이에 반하여, 도 8b에 도시된 전기영동 전극으로서 금속전극을 사용하는 일반적인 용액공정 기반 탄소나노튜브 정렬 방법에 의해 정렬된 탄소나노튜브들(204)은 전기영동 전극으로서 두께가 두꺼운 금속전극(202)을 사용하기 때문에, 전기영동 전극(202)과 탄소나노튜브들(204) 간에 단차가 발생하여 탄소나노튜브들(204)의 두께가 일정하지 않다. 도 8b에 도시된 바와 같이 탄소나노튜브들(204)이 전기영동 전극(202)의 에지 부분에 많이 집중적으로 정렬되어 정렬된 탄소나노튜브들(204)의 두께가 일정하지 않은 것을 볼 수 있다.
- [0127] 또한, 전기영동 전극으로서 사용되는 금속전극(204)은 정렬된 탄소나노튜브들(204)과 물질의 특성이 상이하기 때문에 별도의 식각 공정을 사용하여 제거해야 하므로, 금속전극(204)을 제거하기 위한 별도의 공정이 추가되어야 한다.
- [0128] 이제 도 9a 내지 도 9h를 참조하여, 상기 전극 베이스층(104)을 형성하는 방법에 대해서 상세히 설명하기로 한다.
- [0129] 우선, 그래핀을 이용하여 전기영동법 적용을 위한 전극 베이스층(104)을 형성하는 방법에 대해 설명하기로 한다.
- [0130] 도 9a 내지 도 9h는 그래핀을 이용하여 전기영동법 적용을 위한 그래핀 기반의 전극 베이스층(304)을 형성하는 방법을 설명하기 위한 도면이다.
- [0131] 도 9a를 참조하면, 화학기상증착법으로 형성된 그래핀(304)/금속촉매(302)를 포함하는 기관(300)을 준비한다. 도 9b를 참조하면, 상기 그래핀(304)/금속촉매(302)를 포함하는 기관(300)을 전처리한다.
- [0132] 도 9c를 참조하면, 상기 그래핀(304)상에 기능성 지지층(306)을 형성한다.
- [0133] 도 9d를 참조하면, 상기 지지층(306)에 탄성체 스탬프(308)를 부착한다.
- [0134] 도 9e를 참조하면, 상기 탄성체 스탬프(308)를 들어올려 상기 지지층(306)/그래핀(304)을 상기 금속촉매(302)가 형성된 기관(300)으로부터 분리한다.
- [0135] 도 9f를 참조하면, 상기 탄성체 스탬프(308)에 부착되어 있는 상기 지지층(306)/그래핀(304)을 도 1에 도시된 절연막(102)상에 배치한다.
- [0136] 도 9g를 참조하면, 상기 탄성체 스탬프(308)를 상기 지지층(306)/그래핀(304)으로부터 분리한다.
- [0137] 도 9h를 참조하면, 상기 지지층(306)을 제거하여 절연막(102)상에 그래핀 기반의 전극 베이스층(304)을 형성한다. 도 9h의 그래핀 기반의 전극 베이스층(304)은 도 2에 도시된 전극 베이스층(104)에 대응한다.
- [0138] 다음으로, 탄소나노튜브를 이용하여 전기영동법 적용을 위한 탄소나노튜브 기반의 전극 베이스층(104)을 형성하는 방법에 대해 설명하기로 한다.

- [0139] 탄소나노튜브를 이용하여 전기영동법 적용을 위한 탄소나노튜브 기반의 전극 베이스층(104)을 형성하는 방법은, 도 1에 도시된 절연막(102)을 친수성으로 변화시키기 위하여 자외선(UV) 오존을 상기 절연막(102) 위에 약 10분 동안 조사한다.
- [0140] 다음, 상기 절연막(102)에 대해 폴리-L-라이신(poly-L-lysine) 용액 기반의 표면 처리를 실시하고, 상기 절연막(102)이 형성된 기관(100)을 탄소나노튜브가 포함된 용액 속에 약 2시간 동안 디핑(dipping)한다.
- [0141] 다음, 상기 절연막(102)이 형성된 기관(100)을 상기 용액에서 빼낸 후, 이온이 없는 순수한 물로 린스 작업을 진행한다.
- [0142] 다음, N₂ 건(gun)을 이용하여 상기 절연막(102)이 형성된 기관(100)을 건조시켜, 탄소나노튜브 기반의 전극 베이스층(104)을 형성한다.
- [0143] 다음으로, 탄소나노튜브와 그래핀의 합성물을 이용하여 전기영동법 적용을 위한 탄소나노튜브와 그래핀의 합성물 기반의 전극 베이스층(104)을 형성하는 방법에 대해 설명하기로 한다.
- [0144] 우선, 구리(Cu) 기재상에 탄소나노튜브가 포함된 용액을 코팅한 후, 그래핀을 합성하여, 탄소나노튜브와 그래핀의 합성물을 준비한다.
- [0145] 이후의 단계들은, 도 9b 내지 도 9h에 도시된 전기영동법 적용을 위한 전극 베이스층(104)을 형성하는 방법과 유사하다.
- [0146] 다음, 상기 탄소나노튜브와 그래핀의 합성물/구리 기재를 전처리한 후, 상기 탄소나노튜브와 그래핀의 합성물상에 기능성 지지층을 형성한다.
- [0147] 다음, 상기 지지층에 탄성체 스탬프를 부착하고, 상기 탄성체 스탬프를 이용하여 상기 지지층/탄소나노튜브와 그래핀의 합성물을 상기 구리 기재로부터 분리한다.
- [0148] 다음, 상기 탄성체 스탬프에 부착되어 있는 상기 지지층/탄소나노튜브와 그래핀의 합성물을 도 1에 도시된 절연막(102)상에 배치하고, 상기 탄성체 스탬프를 상기 지지층/탄소나노튜브와 그래핀의 합성물로부터 분리한다.
- [0149] 다음, 상기 지지층을 제거하여 탄소나노튜브와 그래핀의 합성물 기반의 전극 베이스층(104)을 형성한다.
- [0150] 한편, 본 발명의 일 실시예에 의한 정렬형 반도체 탄소나노튜브 웨이퍼 제조 방법은, 상기한 도 1 내지 도 6의 본 발명의 일 실시예에 의한 용액공정 기반 탄소나노튜브 정렬 방법에 추가로, 탄소나노튜브의 순도를 높이기 위하여 정제 공정을 진행하는 단계를 더 포함한다.
- [0151] 상기 정제 공정은 도 10 및 도 11에 도시된 열유동 모세관 현상 기반의 탄소나노튜브 정제 방법을 이용하여 실시되거나, 도 12에 도시된 마이크로웨이브 기반의 탄소나노튜브 정제 방법을 이용하여 실시될 수 있다.
- [0152] 도 10 및 도 11에 도시된 열유동 모세관 현상 기반의 탄소나노튜브 정제 방법을 사용하면, 전자회로 구성에 있어서 유리한 구조인 정렬형 반도체 탄소나노튜브 형태를 그대로 유지하면서 반도체 탄소나노튜브의 고유한 이동도 특성 저하 및 개체수 손실이 거의 없는 99% 이상의 고순도의 순수한 반도체형 탄소나노튜브를 획득할 수 있다.
- [0153] 도 10 및 도 11에 도시된 열유동 모세관 현상 기반의 탄소나노튜브 정제 방법에서는, 반도체 탄소나노튜브와 금속형 탄소나노튜브가 형성된 기관에 유기물질을 증착한 후 금속형 탄소나노튜브를 선택적으로 발열시켜 선택적인 트렌치를 형성한 후 금속형 탄소나노튜브를 식각하여 제거하고 유기물질을 제거함으로써, 순수한 반도체 탄소나노튜브만을 획득한다.
- [0154] 한편, 도 12에 도시된 마이크로웨이브 기반의 탄소나노튜브 정제 방법은, 도 10 및 도 11에 도시된 줄열 기반의 선택적 트렌치 형성 방법인 열유동 모세관 현상 기반의 탄소나노튜브 정제 방법보다도 공정을 탁월하게 단순화시키고, 웨이퍼 기반의 대면적에 적용할 수 있는 기술이다.
- [0155] 도 12에 도시된 마이크로웨이브 기반의 탄소나노튜브 정제 방법에서는, 낮은 일함수를 갖는 금속재료와 접촉된 정렬형 탄소나노튜브에 단순히 마이크로웨이브를 조사하여 선택적인 맴돌이 전류를 금속형 탄소나노튜브에 크게 발생시켜 금속형 탄소나노튜브를 제거함으로써, 99.9925% 이상의 초고순도의 순수한 반도체형 탄소나노튜브를 획득할 수 있다.
- [0156] 상기 정제 공정을 실시한 후, 도 7에 도시된 바와 같이, 초고순도의 순수한 반도체형 탄소나노튜브들로 이루어

진 탄소나노튜브 배선(110)이 형성되어 있는 본 발명의 일 실시예에 의한 정렬형 반도체 탄소나노튜브 웨이퍼를 획득할 수 있다.

[0157] 도 7에 도시된 본 발명의 일 실시예에 의한 정렬형 반도체 탄소나노튜브 웨이퍼는, 절연막(102)이 형성된 기판(100), 상기 절연막(102)상에 형성된 전기영동 전극(108), 및 상기 전기영동 전극(108) 사이에 정렬된 다발 형태의 탄소나노튜브들(110)을 포함하는 탄소나노튜브 배선들을 포함한다.

[0158] 또한, 상기 전기영동 전극(108)은 탄소 기반 전극을 포함한다.

[0159] 상기 탄소 기반 전극은, 탄소나노튜브로 형성된 전극, 그래핀으로 형성된 전극 및 탄소나노튜브와 그래핀의 합성물로 형성된 전극으로 이루어진 군에서 선택된 어느 하나의 전극일 수 있다.

[0160] 도 13에 도시된 바와 같이 전기영동 전극으로서 금속전극을 사용하는 일반적인 탄소나노튜브 정렬 방법에 따라 정렬된 탄소나노튜브들의 정렬 상태는 금속전극의 에지 부분에 탄소나노튜브들이 집중적으로 존재하고, 탄소나노튜브들의 정렬 상태가 그다지 좋지 않다.

[0161] 이에 반하여, 도 14에 도시된 바와 같이 탄소나노튜브 전극을 전기영동 전극으로서 사용하거나, 도 15에 도시된 바와 같이 탄소나노튜브와 그래핀의 합성물을 전기영동 전극으로서 사용하는 본 발명의 실시예에 의한 탄소나노튜브 정렬 방법에 따라 정렬된 탄소나노튜브들은 거의 완벽하게 가지런히 정렬되어 있는 것을 알 수 있다.

[0162] 본 발명의 일 실시예에 의한 용액공정 기반 탄소나노튜브 정렬 방법, 정렬형 반도체 탄소나노튜브 웨이퍼 제조 방법 및 정렬형 반도체 탄소나노튜브 웨이퍼에 의하면, 탄소나노튜브들을 완벽하게 정렬시킬 수 있고 전기영동 전극과 정렬된 탄소나노튜브들 간에 단차가 발생하지 않아 두께가 일정한 탄소나노튜브 배선을 형성할 수 있으며, 전기영동 전극을 별도의 후속 공정으로 제거할 필요없이 추후 회로 형성 공정시의 식각 공정으로 일괄적으로 제거할 수 있어 공정을 단순화할 수 있고, 고순도 정제 공정을 이용하여 웨이퍼 스케일의 초고순도 탄소나노튜브 웨이퍼를 형성할 수 있다.

[0163] 또한, 본 발명의 일 실시예에 의한 용액공정 기반 탄소나노튜브 정렬 방법, 정렬형 반도체 탄소나노튜브 웨이퍼 제조 방법 및 정렬형 반도체 탄소나노튜브 웨이퍼에 의하면, 상기 탄소 성분 기반의 전극은 수 nm, 예를 들어 1 nm 내지 5nm의 두께를 갖는 박막으로 형성되기 때문에, 탄소나노튜브들의 정렬 후, 후속 정제공정의 수율과 공정 편이성이 향상될 수 있다.

[0164] 예를 들어, 정제공정시 유기박막을 전기영동 전극 및 정렬된 탄소나노튜브들 상에 증착하게 되는데, 전기영동 전극으로 금속 전극을 사용하는 경우 금속전극의 두께가 약 20nm 내지 25nm 정도로 두껍기 때문에, 금속전극 및 정렬된 탄소나노튜브들 상에 증착되는 유기박막의 두께는 최소 30nm는 되어야 한다. 유기박막의 두께가 두껍게 형성되면, 정제공정시 금속형 탄소나노튜브들을 제거하기 위하여 선택적인 트렌치를 형성할 때 트렌치의 폭 또는 간격이 유기박막의 두께만큼 넓어져야 하기 때문에 공정 해상도가 나빠지게 되고 이로 인해 제거해야 할 금속형 탄소나노튜브 근처에 있는 반도체 탄소나노튜브가 트렌치에 의해 노출되어 금속형 탄소나노튜브와 함께 제거될 수 있어 정제공정의 수율도 저하된다.

[0165] 이에 반하여, 본 발명의 일 실시예에 의한 용액공정 기반 탄소나노튜브 정렬 방법, 정렬형 반도체 탄소나노튜브 웨이퍼 제조 방법 및 정렬형 반도체 탄소나노튜브 웨이퍼에 의하면, 전기영동 전극으로서 탄소 성분 기반의 전극을 사용하고 상기 탄소 성분의 전극은 수 nm, 예를 들어 1nm 내지 5nm의 두께를 갖는 박막으로 형성되기 때문에, 탄소나노튜브들의 정렬 후, 후속 공정인 정제 공정의 공정 해상도와 수율을 향상시킬 수 있다.

[0166] 이상 본 발명을 구체적인 실시예를 통하여 상세하게 설명하였으나, 이는 본 발명을 구체적으로 설명하기 위한 것으로, 본 발명은 이에 한정되지 않으며, 본 발명의 기술적 사상 내에서 당 분야의 통상의 지식을 가진 자에 의해 그 변형이나 개량이 가능함은 명백하다고 할 것이다.

[0167] 본 발명의 단순한 변형 내지 변경은 모두 본 발명의 영역에 속하는 것으로, 본 발명의 구체적인 보호 범위는 첨부된 청구범위에 의하여 명확해질 것이다.

부호의 설명

[0168] 100 : 기판 102 : 절연막

104 : 전극 베이스층 106 : 얼라인마크

108 : 전기영동 전극 110 : 탄소나노튜브

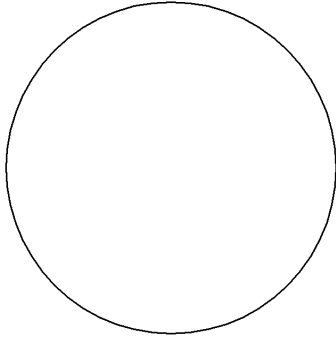
112 : 세정액 300 : 기관

302 : 금속촉매 304 : 그래핀

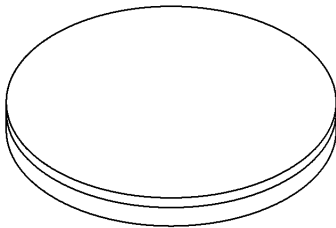
306 : 지지층 308 : 탄성체 스탬프

도면

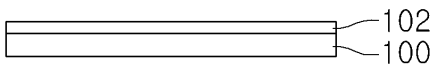
도면1



[상측도]

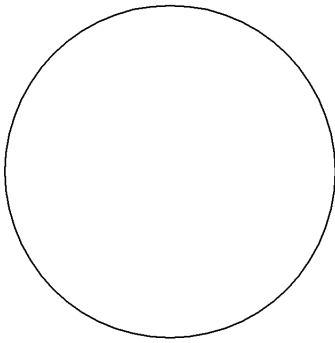


[원근도]

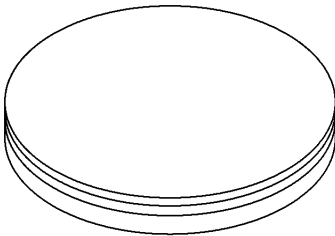


[우측면도]

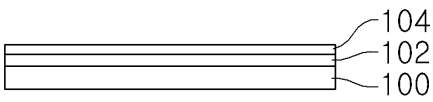
도면2



[상측도]

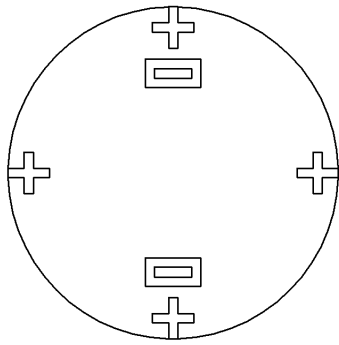


[원근도]

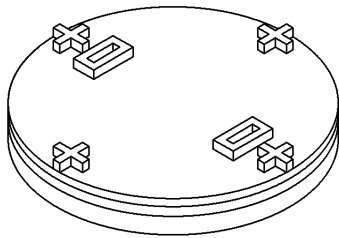


[우측면도]

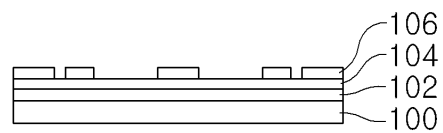
도면3



[상측도]

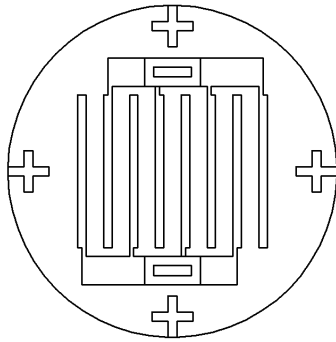


[원근도]

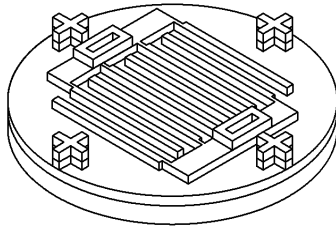


[우측면도]

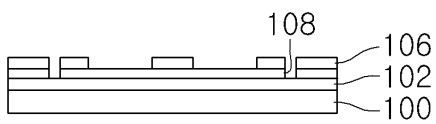
도면4



[상측도]

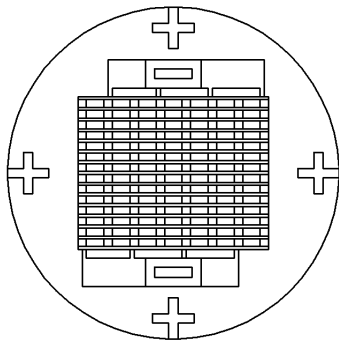


[원근도]

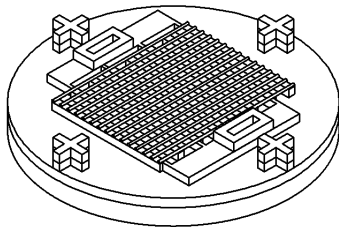


[우측면도]

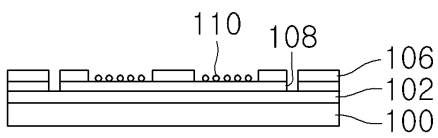
도면5



[상측도]

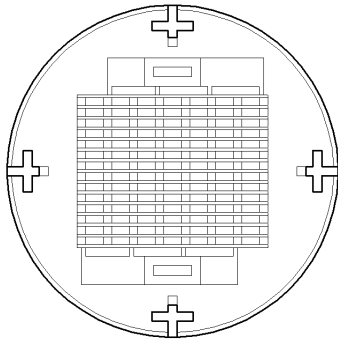


[원근도]

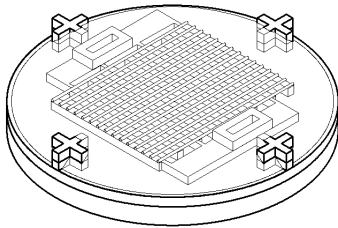


[우측면도]

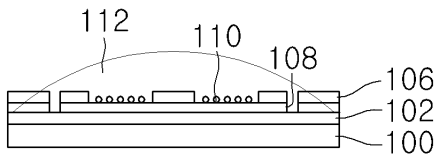
도면6



[상측도]

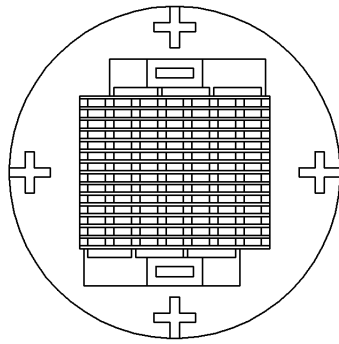


[원근도]

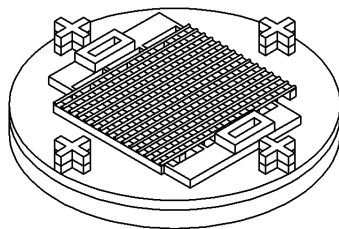


[우측면도]

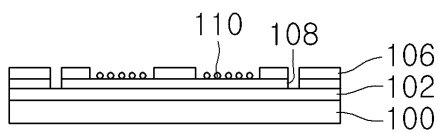
도면7



[상측도]

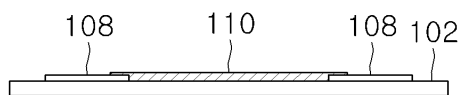


[원근도]

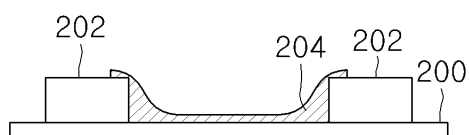


[우측면도]

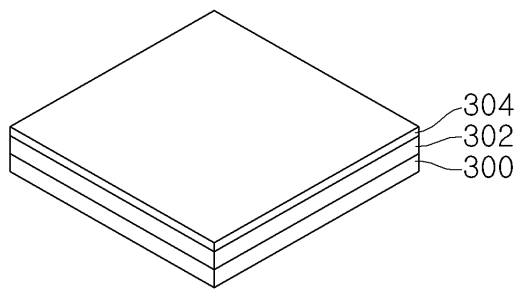
도면8a



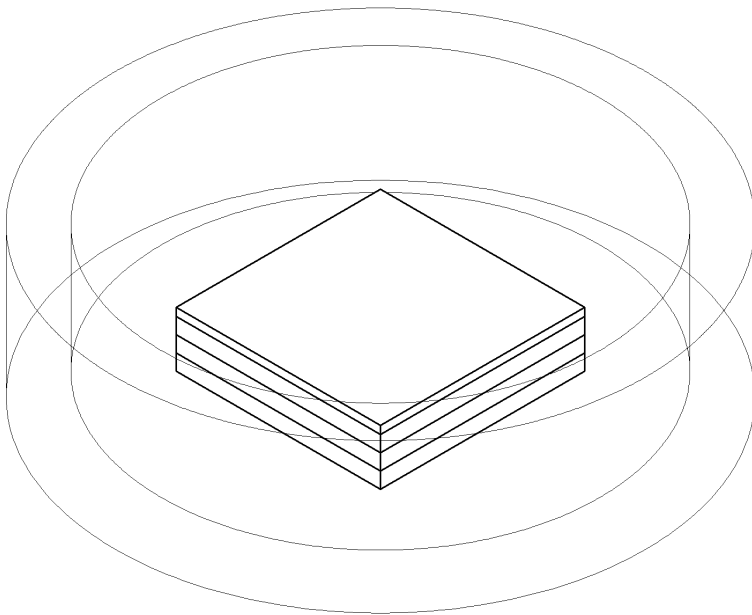
도면8b



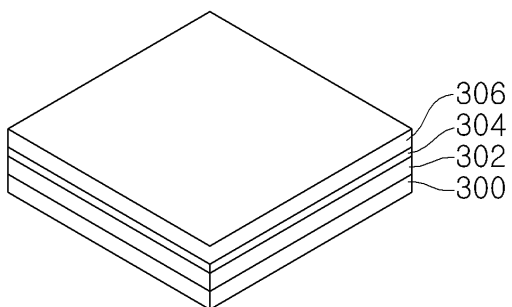
도면9a



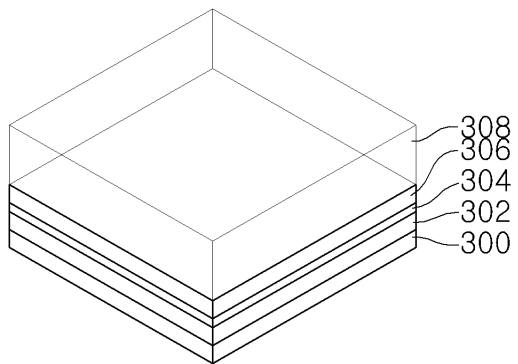
도면9b



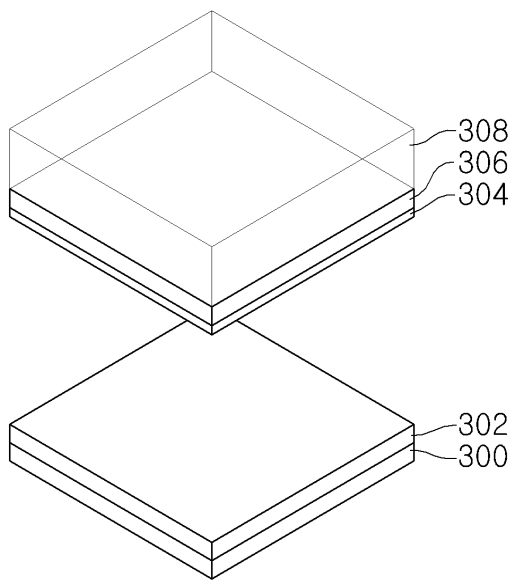
도면9c



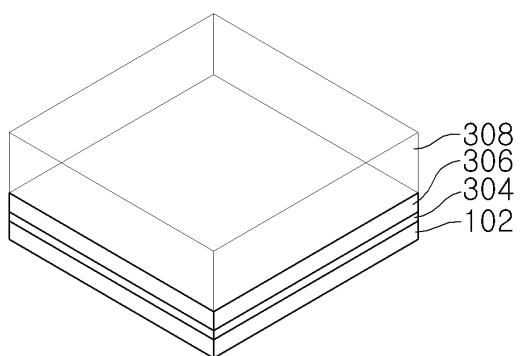
도면9d



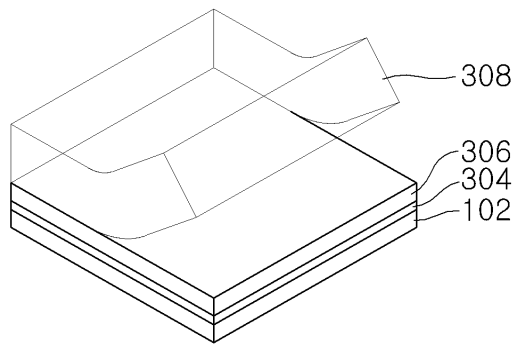
도면9e



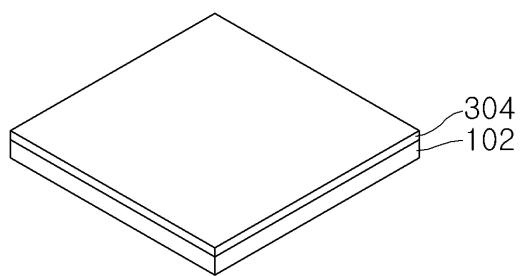
도면9f



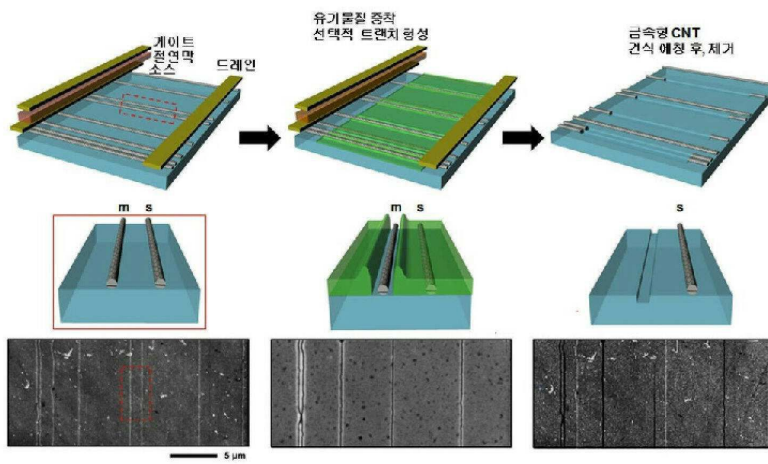
도면9g



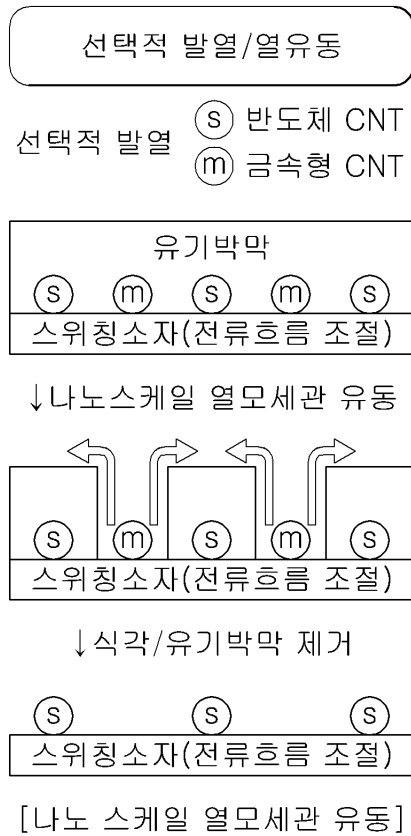
도면9h



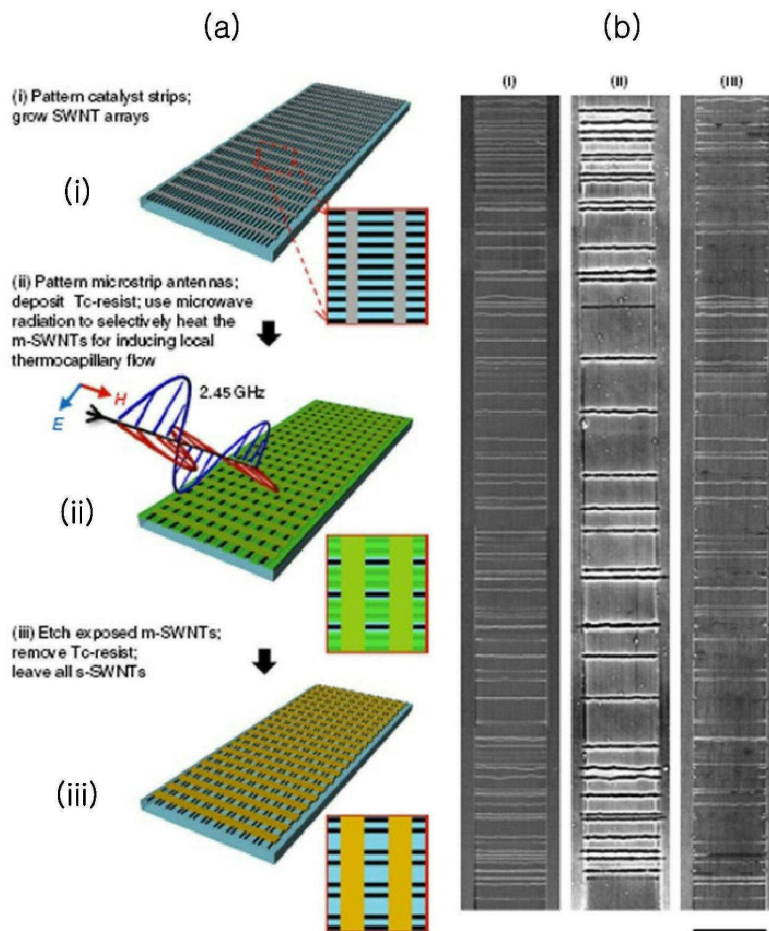
도면10



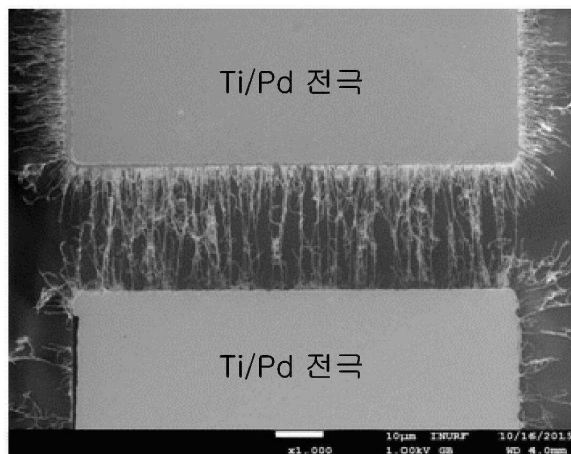
도면11



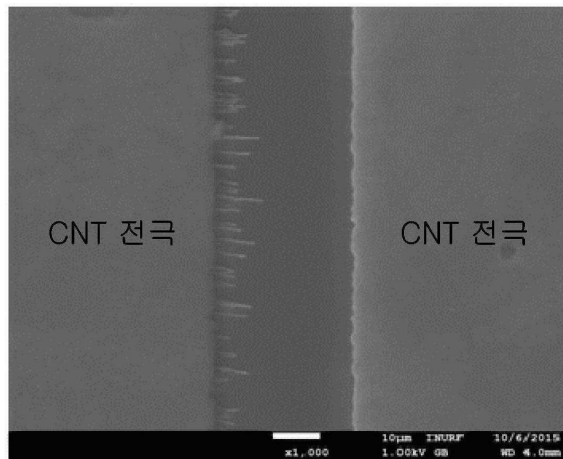
도면12



도면13



도면14



도면15

