(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2024년09월23일
(11) 등록번호 10-2708904
(24) 등록일자 2024년09월19일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
C01B 32/16 (2017.01) *C23C 26/00* (2006.01)
C23C 28/00 (2006.01)
(52) CPC특허분류
C01B 32/16 (2017.08)
C23C 26/00 (2013.01)
(21) 출원번호 10-2018-7026340
(22) 출원일자(국제) 2017년02월12일
심사청구일자 2021년12월29일
(85) 번역문제출일자 2018년09월11일
(65) 공개번호 10-2018-0114127
(43) 공개일자 2018년10월17일
(86) 국제출원번호 PCT/US2017/017583
(87) 국제공개번호 WO 2017/142819
국제공개일자 2017년08월24일
(30) 우선권주장
15/043,952 2016년02월15일 미국(US)
(56) 선행기술조사문헌
US20140120029 A1*
US20110162957 A1*
KR1020150036551 A
KR1020100033964 A
*는 심사관에 의하여 인용된 문헌

(73) 특허권자
오디세우스 테크놀로지스, 인코퍼레이티드
미국, 워싱턴 98516, 올림피아, 노스이스트 존 루르 로드 4422
(72) 발명자
라우브셔, 브라이언
미국, 워싱턴 98516, 올림피아, 노스이스트 존 루르 로드 4422
(74) 대리인
특허법인세아

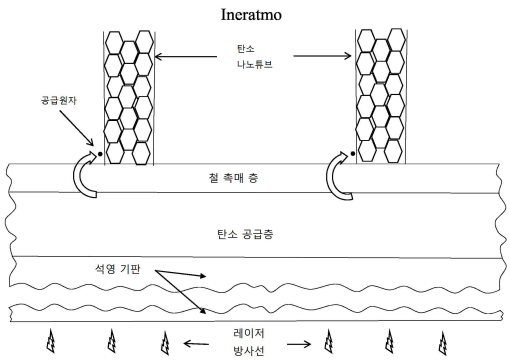
전체 청구항 수 : 총 35 항 심사관 : 김광철

(54) 발명의 명칭 **자유원자 나노튜브 성장**

(57) 요 약

긴 고품질의 나노튜브를 연속적으로 성장시킬 수 있는 자유원자 나노튜브 성장 기술이 개시된다. 본 발명은 원자 공급원료가 나노튜브를 둘러싸는 기체 환경에서 일어나지 않았기 때문에 화학 증기 증착 기술에서 벗어남을 나타낸다. 이 기술은, 화학 증기 증착 성장 기술에서 탄소 나노튜브 성장을 중단시키는 하기 문제를 완화시킨다: 1) 주로 비정질 탄소일 것으로 의심되는 촉매 입자의 표면 위의 재료의 축적, 2) 더 작은 촉매 입자의 크기를 줄이고 더 큰 촉매 입자를 확대하는 오스트발트 성장(Ostwald ripening)의 효과, 3) 촉매 입자가 너무 작아지면, 탄소 나노튜브를 성장시키기 위해 사용된 기판으로 확산되어 성장을 중단시키는 일부 촉매 재료의 효과.

대 표 도 - 도1



(52) CPC특허분류
C23C 28/321 (2013.01)
C23C 28/322 (2013.01)
C23C 28/34 (2013.01)
C01P 2004/13 (2013.01)

명 세 서

청구범위

청구항 1

전방 면과 이 전방 면 반대측의 후방면을 구비하고 도파로가 없는 기판으로서, 전자기 방사선이 상기 후방 면에서 상기 기판을 지나 상기 전방 면으로 전파될 수 있게 구성된 상기 기판과;

상기 기판의 전방 면 위에 배치된 공급원자들로서, 전자기 방사선에 응답하여 이주하도록 구성된 상기 공급원자들과;

상기 기판에서 분리된 적어도 하나의 촉매로서, 상기 전방 면과 상기 공급원자들 위에 배치되고, 상기 공급원자들이 이주하여 상기 기판의 전방 면 위에 적어도 하나의 나노튜브를 형성할 수 있도록 구성된 상기 적어도 하나의 촉매;를 포함하는 나노튜브 성장 구조.

청구항 2

제1 항에 있어서, 상기 적어도 하나의 촉매는 적어도 하나의 촉매 층을 포함하는 나노튜브 성장 구조.

청구항 3

제1 항에 있어서, 상기 기판의 전방 면 위에 배치되고 상기 공급원자들을 포함하는 공급층을 더 포함하는 나노튜브 성장 구조.

청구항 4

제3 항에 있어서, 상기 공급층은 비정질 탄소를 포함하는 나노튜브 성장 구조.

청구항 5

제1 항에 있어서, 상기 기판의 전방 면 위에 배치되고 상기 공급원자들을 포함하는 공급 저장소를 더 포함하는 나노튜브 성장 구조.

청구항 6

제1 항에 있어서, 상기 기판에 적어도 부분적으로 배치된 전자기 방사선 광원을 더 포함하는 나노튜브 성장 구조.

청구항 7

제6 항에 있어서, 상기 전자기 방사선 광원은 발광 다이오드를 포함하는 나노튜브 성장 구조.

청구항 8

제6 항에 있어서, 상기 전자기 방사선 광원은 레이저를 포함하는 나노튜브 성장 구조.

청구항 9

제6 항에 있어서, 상기 기판에 적어도 부분적으로 배치되고 상기 전자기 방사선 광원을 기동하도록 구성된 증폭기를 더 포함하는 나노튜브 성장 구조.

청구항 10

제1 항에 있어서, 상기 공급원자들은 탄소, 규소, 붕소 및 질소, 알루미늄 및 질소, 갈륨 및 질소로 이루어진 군에서 선택되는 나노튜브 성장 구조.

청구항 11

제1 항에 있어서, 상기 적어도 하나의 촉매는 철, 니켈, 코발트, 구리, 금, 은, 백금, 팔라듐, 망간, 크롬, 주

석, 마그네슘, 알루미늄, 이트륨, 바나듐, 몰리브덴, 레늄, 및 이들 금속의 합금의 군으로부터 선택된 재료를 포함하는 나노튜브 성장 구조.

청구항 12

제1 항에 있어서, 상기 적어도 하나의 촉매는 적어도 하나의 촉매입자를 포함하는 나노튜브 성장 구조.

청구항 13

제1 항에 있어서, 상기 기판의 전방 면 위에 배치되고 상기 공급원자들과 상기 적어도 하나의 촉매를 포함하는 층을 더 포함하는 나노튜브 성장 구조.

청구항 14

제1 항에 있어서, 상기 공급원자들은 상기 기판의 전방 면에서 입사한 전자기 방사선에 응답하여 이주하도록 구성된 나노튜브 성장 구조.

청구항 15

제1 항에 있어서, 상기 공급원자들은 상기 기판의 후방 면에서 입사한 전자기 방사선에 응답하여 이주하도록 구성된 나노튜브 성장 구조.

청구항 16

전방 면과 이 전방 면 반대측의 후방 면을 구비하고 도파로가 없는 수정 기판과;

상기 기판의 전방 면 위에 배치된 비정질 탄소층으로서, 탄소 공급원자들이 전자기 방사선에 응답하여 상기 비정질 탄소층에서 이주하도록 구성된 상기 비정질 탄소층과;

상기 기판의 전방 면 위와 상기 비정질 탄소층 위에 배치된 적어도 하나의 촉매로서, 상기 탄소 공급원자들이 이주하여 상기 기판의 전방 면 위에 적어도 하나의 나노튜브를 형성할 수 있도록 구성된 상기 적어도 하나의 촉매;를 포함하는 나노튜브 성장 구조.

청구항 17

제16 항에 있어서, 상기 탄소 공급원자들은 상기 기판의 전방 면에서 입사한 상기 전자기 방사선에 응답하여 이주하도록 구성된 나노튜브 성장 구조.

청구항 18

제16 항에 있어서, 상기 탄소 공급원자들은 상기 기판의 후방 면에서 입사한 전자기 방사선에 응답하여 이주하도록 구성된 나노튜브 성장 구조.

청구항 19

기판의 후방 면에서 상기 기판을 통해 상기 기판의 전방 면으로 전파하는 전자기 방사선에 응답하여, 도파로가 없는 상기 기판의 전방 면 위에 배치된 공급원자들을 유리시키는 단계와,

상기 유리된 공급원자들로부터, 그리고 상기 기판에서 분리되고 상기 기판의 전방 면 위에 배치된 적어도 하나의 촉매로부터 상기 기판의 전방 면 위로 적어도 하나의 나노튜브를 형성하는 단계를 포함하는 나노튜브 성장 방법.

청구항 20

제19 항에 있어서, 상기 공급원자들을 유리시키는 단계는 상기 공급원자들이 상기 적어도 하나의 촉매로 이주하게 하는 단계를 포함하는 나노튜브 성장 방법.

청구항 21

제19 항에 있어서, 상기 적어도 하나의 촉매는 촉매 층을 포함하는 나노튜브 성장 방법.

청구항 22

제19 항에 있어서, 상기 적어도 하나의 촉매는 적어도 하나의 촉매 입자를 포함하는 나노튜브 성장 방법.

청구항 23

제19 항에 있어서, 상기 기판이 불활성 분위기에 노출되어 있는 동안, 상기 공급원자들을 유리시키고 상기 적어도 하나의 나노튜브를 형성하는 단계를 더 포함하는 나노튜브 성장 방법.

청구항 24

제19 항에 있어서, 상기 공급원자들은 비정질 탄소의 원자를 포함하는 나노튜브 성장 방법.

청구항 25

제19 항에 있어서, 상기 기판은 수정 기판을 포함하는 나노튜브 성장 방법.

청구항 26

기판의 후방 면에서 상기 기판을 통해 상기 기판의 전방 면으로 전파하는 전자기 방사선에 응답하여 공급원자들이 이주하도록, 도파로가 없는 기판의 전방 면 위에 상기 공급원자들을 배치하는 단계와,

상기 공급원자들이 이주하여 상기 기판의 전방 면 위로 적어도 하나의 나노튜브를 형성하도록, 상기 기판에서 분리된 적어도 하나의 촉매를 상기 기판의 전방 면 위에 배치하는 단계를 포함하는 나노튜브 성장 방법.

청구항 27

제26 항에 있어서, 상기 공급원자들을 배치하는 단계는 상기 공급원자들을 포함하는 공급층을 상기 기판의 전방 면 위에 형성하는 단계를 포함하는 나노튜브 성장 방법.

청구항 28

제26 항에 있어서, 상기 적어도 하나의 촉매를 배치하는 단계는 상기 공급원자들 위로 촉매층을 형성하는 단계를 포함하는 나노튜브 성장 방법.

청구항 29

제26 항에 있어서, 상기 적어도 하나의 촉매를 배치하는 단계는 상기 공급원자들 위로 촉매입자를 형성하는 단계를 포함하는 나노튜브 성장 방법.

청구항 30

제26 항에 있어서, 상기 공급원자들을 배치하고 상기 적어도 하나의 촉매를 배치하는 단계는, 상기 공급원자들과 상기 적어도 하나의 촉매를 포함하는 층을 형성하는 단계를 포함하는 나노튜브 성장 방법.

청구항 31

제26 항에 있어서, 상기 공급원자들 밑에 전자기 방사선 광원을 형성하는 단계를 더 포함하는 나노튜브 성장 방법.

청구항 32

제31 항에 있어서, 상기 전자기 방사선 광원에 결합된 증폭기를 상기 공급원자들 밑에 형성하는 단계를 더 포함하는 나노튜브 성장 방법.

청구항 33

도파로가 없는 수정 기판의 전방 면 위에 배치된 탄소 공급원자들을 전자기 방사선에 응답하여 유리시키는 단계와,

상기 유리된 탄소 공급원자들로부터, 그리고 상기 기판에서 분리되고 상기 기판의 전방 면 위에 배치된 적어도 하나의 촉매로부터 상기 기판의 전방 면 위로 적어도 하나의 나노튜브를 형성하는 단계를 포함하는 나노튜브 성

장 방법.

청구항 34

제33 항에 있어서, 상기 탄소 공급원자들을 유리시키는 단계는 상기 기판의 전방 면을 향해 입사하는 상기 전자기 방사선에 응답하여 상기 탄소 공급원자들을 유리시키는 단계를 포함하는 나노튜브 성장 방법.

청구항 35

제33 항에 있어서, 상기 탄소 공급원자들을 유리시키는 단계는 상기 기판의 후방 면을 향해 입사하는 상기 전자기 방사선에 응답하여 상기 탄소 공급원자들을 유리시키는 단계를 포함하는 나노튜브 성장 방법.

발명의 설명

기 술 분 야

[0001] 이 특허 출원은, 2013년 9월 25일 출원된 미국 특허출원 제14037034호 트레킹 원자 나노튜브 성장(Trekking Atom Nanotube Growth)(TREKANG)의 부분계속출원이다. 이 TREKANG 특허 출원 자체는 2012년 10월 29일 출원된 미국 특허출원 제13694088호 인접 원자 나노튜브 성장(Proximate Atom Nanotube Growth)(PANG)의 부분계속출원이다. 관련 없는 개념과 논의를 제거하기 위해, 본 자유원자 나노튜브 성장 특허 출원을 지지하는 데 필요한 본문과 도면만이 선행 PANG 출원과 TREKANG 출원으로부터 이 명세서에 채용되었고, 본 발명을 기술하는 새로운 본문이 명세서에 통합되었다.

[0002] 1. 본 발명의 분야

[0003] 본 발명은 나노튜브(NT)의 성장에 관한 것이다. 본 발명은, 선행 특허 출원 TREKANG의 원리를 사용하여 설계 및 실행된 일련의 실험으로부터 유도된다. 본 발명은, 도파로 Wavide가 없다는 점에서 TREKANG 개념을 크게 단순화시킨 것을 나타낸다. 선행 발명의 도파로 Wavide는 성장을 자극하는 에너지를 촉매 입자(Catpar) 부근의 공급층에 전달하도록 고안되었지만, 본원의 실시예는 이러한 도파로 Wavide가 필요하지 않음을 입증한다. NT 성장은, 공급층(feedlayer)의 공급원자(feedatom)를 활성화시켜 NT의 성장 부위 또는 Catpar로 이주시킴으로써 이루어진다. 간단히 말해서, 화학 반응기의 분위기는 불활성 분위기 Ineratmo이기 때문에, 이것은 화학 증착(CVD) 기술이 아니다. 대신, 기판 위에 침착된 공급층으로부터 원자를 유리시키기 위해 레이저 또는 발광 다이오드(LED) 램프 형태의 근자외선(near-UV) 또는 자외선(UV) Emrad 광원(source)을 사용한다. 이들 자유원자는, NT가 성장하는 성장 부위 또는 Catpar로 이주한다. 본원 발명은 탄소 나노튜브(CNT)의 예를 고려하여 예시될 수 있다.

[0004] 2. 탄소 나노튜브 성장의 문제점

[0005] 인공 CNT는 다양한 수단으로 생성된다. 가장 유용한 기술 중 하나인 화학 증착(CVD)을 고려한다. 기본적으로, CVD 공정은 반응 챔버 내에서 분위기 성분으로 침탄성 기체를 필요로 한다. 이들 기체 분자들 중 일부는 챔버에서 Catpar과 반응하고, 만일 온도, 기체 분압, 및 많은 다른 파라미터들이 정확하면, 탄소 원자가 기체 분자로부터 Catpar의 표면으로 전이하고 이 Catpar로부터 CNT가 성장할 것이다. 일반적으로 CVD 공정은 반도체 미세회로 제조를 포함하는 많은 다른 노력으로 수십 년에 걸쳐 극히 유용한 것으로 밝혀졌기 때문에 이 공정은 매우 인기가 높다. 그러나, 이 기술이 CNT 성장을 위해 사용될 때에는 단점이 있다.

[0006] 첫 번째 단점은, CNT의 초기 성장은 매우 빠르지만, 성장이 기어갈 정도로 급격히 느려지고, 모든 의도와 목적에 대해서 중지된다는 것이다. 비록 느리지만, 성장이 인지될 정도로 계속되게 하는 돌파구가 만들어졌지만, 두 번째 문제가 작용하기 시작한다. 이미 형성된 CNT가 고온의 침탄성 기체의 환경에 빠져 있다. CNT의 표면에서 반응이 계속되어 고도로 조직화된 탄소 격자에서 결함을 생성한다. 이들 결함은 CNT의 물리적 특성을 급격하게 떨어뜨린다. 이런 환경에서 성장이 더 오래 진행될수록, CNT에 더 많은 손상이 가해진다. 따라서, 상당량의 긴(CNT의 경우 1 센티미터 이상, BNNT의 경우 수 센티미터), 고품질 CNT의 제조가 불가능하다. 10년이 넘는 동안, 연구원들은 고품질의 긴 CNT를 생산하기 위한 "올바른 설정(right set)"의 CVD 파라미터를 찾으려고 노력했지만, 성공하지는 못했다.

[0007] CVD 공정 동안 CNT 성장의 급격한 둔화 원인은 현재 다음과 같이 이해된다:

[0008] 1) Catpar의 표면 위에 축적하는 재료는 비정질 탄소일 것으로 의심된다. 이 코팅에 의해 Catpar의 표면적이 감소하고, 따라서 성장하는 CNT와 결합하기에 적합한 탄소 원자가 Catpar를 통과하든가 또는 그 표면 위를 이동하

여 CNT 성장 위치까지 가는 기회가 줄어든다. 그래서, CNT 성장이 느려지거나 또는 종료된다.

[0009] 2) 오스트발트 성장(Ostwald ripening)의 영향으로, 작은 것으로부터 큰 것으로 질량 이동함으로써 작은 사이즈의 Catpar가 줄어들고 큰 사이즈의 Catpar가 늘어나는 경향이 있다. 개념적으로 이것은 작은 입자가 큰 입자보다 열역학적으로 덜 안정하기 때문이다. 이러한 열역학적 구동 프로세스는 계의 표면 에너지를 최소화하고자 한다. Catpar가 너무 크거나 또는 너무 작으면 CNT 성장이 멈추기 때문에 (또는 처음부터 시작되지 않기 때문에) Catpar 크기는 중요하다.

[0010] 3) CNT가 성장되는 기판이 많은 서로 다른 물질일 수 있지만, 가장 일반적인 기판은 반도체 산업에서 수십 년의 경험에서 하나를 들자면 규소이다. 규소는 촉매 원소에 대해 불투과성일거라 생각되었지만, CNT 제조에서는 적어도 일부 촉매 재료는 규소 층으로 확산될 수 있는 것으로 밝혀졌다. 따라서, Catpar의 유효 크기는 더 작아지고, CNT 성장을 지지할 수 없게 될 수 있다. 다른 기판 역시 촉매 재료에 대해 다공질일 수 있다.

배 경 기 술

[0011] 3. 선행 기술의 설명

[0012] 미국 특허 제7,045,108호는, 기판 위에서 CNT의 성장 및 이들 CNT를 연속적인 묶음으로 기판으로부터 추후 인발하는 것을 기술한다. 요약서는 다음과 같이 기재한다: 긴 탄소 나노튜브 얀을 제조하는 방법은 다음 단계를 포함한다: (1) 편평하고 매끄러운 기판을 제공하는 단계; (2) 기판 위에 촉매를 증착시키는 단계; (3) 노(furnace)에서 촉매를 부여한 기판을 배치하는 단계; (4) 소정의 온도로 노를 가열하는 단계; (5) 탄소 함유 기체와 보호 기체의 혼합물을 노 안으로 공급하는 단계; (6) 촉매의 국부 온도와 노 온도 사이의 차이를 적어도 50도가 되도록 제어하는 단계; (7) 탄소 함유 기체의 분압을 0.2 미만이 되도록 제어하는 단계; (8) 탄소 나노튜브 어레이가 기판 위에 형성되도록 기판 위에서 다수의 탄소 나노튜브를 성장시키는 단계; 및 (9) 탄소 나노튜브 얀이 형성되도록 탄소 나노튜브 어레이로부터 한 묶음의 탄소 나노튜브를 인발하는 단계.

[0013] 선행 단락에 설명된 기술은, CNT의 대중적이고 유용한 "포리스트 성장(forest growth)" 및 포리스트로부터 CNT 묶음의 인발하는 대표적인 예이다. CNT 성장 둔화에 대한 원인을 완화하기 위한 임의의 기술은 논의하지 않는다.

[0014] 미국 특허 제8,206,674호는 질화 붕소 나노튜브(BNNT)의 성장 기술을 설명한다. 요약서로부터: 질화 붕소 나노튜브는, (a) 붕소 증기의 공급원을 생성하는 단계; (b) 붕소 증기와 질소 기체의 혼합물이 표면인 핵 형성 자리에 존재하도록 붕소 증기를 질소 기체와 혼합하는 단계로서, 질소 기체는 분위기보다 높은 압력, 예를 들어, 약 2기압보다 높고 약 250기압 이하인 압력에서 제공되는, 단계; 및 (c) 핵 형성 자리에서 형성된 질화 붕소 나노튜브를 수확하는 단계를 포함하는 공정에 의해 제조된다.

[0015] 상기 기술은, 질소 분위기 안으로 붕소의 레이저 절제(laser ablation)를 사용하여 센티미터 길이의 BNNT를 형성한다. 성장은 절제 크레이터(ablation crater) 부근의 요철 지점에서 일어나고, 성장은 질소 유동의 방향으로 진행된다. 촉매 재료는 존재할 필요가 없다. 이 기술로는 성장을 제어할 수 없거나, CNT를 성장시키기 위해 이 레이저 절제 기술을 사용하는 것을 허용하지 않는다.

[0016] 미국 특허 제8,173,211호는, 연속적인 CVD CNT 성장 공정을 기술한다. 요약서로부터: 탄소 나노입자를 생산하는 방법은, 탄소 나노입자 형성을 허용하는 조건 하에서 전이금속을 생성하기 위해 분해 가능한 전이 금속 화합물을 기판 입자 위에 제공하는 단계, 기체상 탄소 공급원을 기판 입자와 접촉시키는 단계, 상기 접촉 단계 전, 도중, 또는 후에, 전이 금속 화합물을 분해하여, 기판 입자 위에 전이 금속을 생성하는 단계, 전이 금속에 의해 촉매화된 탄소 공급원을 분해하여 탄소 나노입자를 형성하는 단계, 및 형성된 탄소 나노입자를 수거하는 단계를 포함한다.

[0017] 선행 단락에 설명된 기술은, 촉매가 반응기의 탄소 함유 기체 유동 안으로 분산되는 기술이다. 이것은 최대 약 0.5 mm 길이의 CNT를 생산한다. CNT는 연기로 나타나고 연속적으로 빼내어질 수 있다. 그러나, 이 기술로는 긴 고품질 CNT를 성장시킬 수는 없었다.

[0018] 미국 특허 제8,926,934호는, 레이저-보조 CVD에 의한 CNT 성장 공정을 기술한다. 요약서로부터: 탄소 나노튜브 어레이를 성장시키는 방법은, (a) 기판을 제공하는 단계; (b) 기판 위에 탄소질 재료를 포함하는 촉매 막을 형성하는 단계; (c) 촉매 막을 가로질러 유동하는 탄소 공급원 기체와 캐리어 기체와의 혼합물을 도입하는 단계; (d) 촉매 막 위에 레이저 빔의 초점을 맞추어 촉매를 미리 결정된 반응 온도까지 국부적으로 가열시키는 단계; 및 (e) 기판으로부터 탄소 나노튜브의 어레이를 성장시키는 단계를 포함한다.

[0019] 선행 단락에 기술된 설명은, 레이저가 전구물질 기체에서 탄소 결합의 분해를 촉진하는 온도까지 촉매를 가열하기 위해 사용되는 CVD 기반의 레이저 보조 성장 공정이다. 레이저를 히터로 사용하는 것은 종래 CVD 시스템으로부터의 계단적 단계이고, 상기 언급된 CVD 성장의 단점들 중 많은 것을 유지한다. 이 기술로는 긴 고품질 CNT를 성장시킬 수는 없었다.

발명의 내용

과제의 해결 수단

[0020] 본 발명은, 자유원자(free atom)가 NT의 성장 부위 또는 Catpar로 이동할 수 있도록 공급원자를 유리시킴으로써 NT를 성장시키는 기술이다. 간단히 말해서, 이것은 비 CVD 공정이다: 고온의 탄소 함유 기체가 없다. 도 1에 도시된 일 실시예는, 그 전방 면 위에 공급원자의 공급층을 갖고, 공급층의 전방 면 위에 촉매의 층을 갖는 기판을 제조하는 것이다. 기판의 하단에 입사하는 Emrad는 공급원료 층(feedstock layer)으로 전파되고, 공급원자를 유리시켜, 이들 공급원자는 NT가 성장하는 성장 부위 또는 Catpar로 이동한다. 자유원자는 성장하는 NT에 통합된다. Emrad의 파라미터와 기판 특성은, NT를 성장시키기 위한 적절한 에너지로, 공급원자가 유리되고 성장 부위 또는 Catpar로 이동함을 보장하기 위해 사용될 수 있다.

[0021] 본 발명이 기초하는 실험에 의해 이루어진 CNT 성장의 경우를 고려한다(도 1 참조). 후방 면으로부터 석영 기판을 조명하기 위해 근자외선 레이저(Emrad 광원)가 사용되었다. 광자(Emrad)는 기판을 통해 전파하고, 대부분은 기판의 전방 면 위의 비정질 탄소 원자(공급층)의 층에서 흡수된다. 광자를 흡수한 탄소 원자(공급원자)가 비정질 탄소로부터 유리되고, 이 중 일부는 CNT 성장 부위로 이동하여, 성장 CNT에 통합된다. 이것이 본 발명의 기초이다.

도면의 간단한 설명

[0022] 도 1은, NT가 촉매층에서 직접 성장하는 본 발명의 실시예를 개략적으로 예시한다.

도 2는, NT가 Catpar에서 직접 성장하는 본 발명의 최상 모드의 실시예를 개략적으로 예시한다.

도 3은, NT가 Catpar에서 직접 성장하고, 공급층이 보충터널로 보충된 공급 저장소(feedvoir)로 대체된 본 발명의 실시예를 개략적으로 예시한다.

도 4는, 현재 실행된 대부분의 실험에 대한 기본 실험 설정을 개략적으로 예시한다.

도 5는, 본 발명의 브로드팁(broadtip) 조립체 실시예를 개략적으로 예시한다.

도 6은, 본 발명의 브로드팁 기판 조립체 실시예의 일부 상세도를 개략적으로 예시한다.

도 7은, 본 발명에 따라 가동되는 관절식 아암과 모션 스테이지에 장착된 브로드팁 조립체를 개략적으로 예시한다.

도 8은, CNT를 계속해서 성장시키는 기판 조립체에 레이저가 에너지를 전달하는, 본 발명의 산업상 적용 실시예를 개략적으로 예시한다.

도 9는, TREKANG 특허 출원으로부터의 이동팁을 개략적으로 예시한다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0023] 1. 용어의 정의

[0024] BNNT - 질화 붕소 나노튜브(boron nitride nanotube)를 의미한다.

[0025] 브로드팁 시스템(Broadtip system) - 모션 스테이지에 부착된 관절식 아암에 장착된 브로드팁 조립체를 포함하는 NT 성장 시스템을 가리킨다. 이 시스템은 브로드팁 기판 조립체로부터 NT를 성장시키고, NT를 인접한 "타깃 표면(target surface)" 위에 침착한다. 인접한 타깃 표면을 가로지르는 브로드팁 조립체의 동작으로, NT의 패턴화된 3차원 침착이 가능하다. 브로드팁은 이동팁과 유사하지만, 많은 촉매 입자 보다 더 크다. 이들의 크기 때문에, Emrad가 공급층에 에너지를 전달하기 위해 플라스몬(plasmon) 대신에 사용된다. 도 5, 6, 및 7을 참조한다.

[0026] 브로드팁 조립체(Broadtip assembly) - 브로드팁 시스템에서 사용하기 위해 Emrad 광원과 결합되고 관절식 아암

에 장착되도록 패키징된 브로드팁 기판 조립체를 포함하는 서브시스템(subsystem)을 의미한다. 도 5,6 및 7을 참조한다.

[0027] 브로드팁 기판 조립체(Broadtip substrate assembly) - 브로드팁 조립체에 통합되고, 브로드팁 시스템에서 사용되도록 구성된 기판 조립체 서브시스템을 의미한. 도 5와 6을 참조한다.

[0028] Catpar - 크기, 형상 및 원소 성분이 나노튜브를 성장시키기에 적합한 일정 부피의 촉매 재료를 의미한다: 촉매 입자(catalyst particle). 촉매는 하나 이상의 원소 성분을 함유할 수 있다.

[0029] CNT - 탄소 나노튜브를 의미한다.

[0030] Emrad - 본원의 기술에 따라 CNT의 성장을 자극하기 위해 적절한 파장으로 생성되는 전자기 방사선(electromagnetic radiation)을 의미한다.

[0031] 공급원자(Feedatom) - 나노튜브의 화학 성분인 원자 또는 분자를 의미한다: 나노튜브의 원자 공급원료(atomic feedstock of a nanotube).

[0032] 공급층(Feedlayer) - 촉매 재료와 같은 다른 성분을 포함할 수 있는 나노튜브 공급원료 원자(공급원자)의 층을 의미한다.

[0033] 공급 저장소(Feedvoir) - 촉매 재료와 같은 다른 성분을 함유할 수 있는 나노튜브 공급원료 원자(공급원자)의 저장소(reservoir)를 의미한다.

[0034] 성장 부위(Growth site) - 나노튜브가 표면에서 성장하는 촉매 층 위의 위치를 의미한다. 성장 부위에서 나노튜브 성장의 경우, 촉매 층은 어닐링되지 않아서 Catpar가 형성되지 않았다.

[0035] 고품질 - 거의 결함이 없음을 의미한다: 고품질(high quality). 고품질 NT는 거의 완전 무결한 무결함 나노튜브이다. 이와 같이 그 인장 강도와 전기적 특성은 최대이다.

[0036] 불활성 분위기(Ineratmo) - CNT 성장 챔버에서 불활성 기상 분위기(inert atmosphere)를 의미한다: 기판의 양면이 분리되어 있으면, 기판의 나노튜브 성장 면(전방 면) 위의 분위기를 의미한다. 이 "불활성" 분위기는 일반적으로 불활성 기체로 이루어진다. 그러나, NT, Catpar 및/또는 자유 탄소와 반응하도록 도입된 다른 기체들의 분압이 성장 공정 중에 분위기 안으로 도입되는 경우에도, Ineratmo라는 용어가 여전히 적용된다.

[0037] 유리시키다(Liberate) - 공급원자가 Emrad를 흡수하고 공급층 또는 공급 저장소 내 다른 원자와의 화학 결합을 깨고 자유롭게 이동하게 되는 공정 또는 공정들을 의미한다.

[0038] 이주하다(Migrate) - 활성화된 공급원자가 공급층 또는 공급 저장소로부터 성장 부위 또는 Catpar로 이주하는 공정 또는 공정들을 나타낸다. 이주하다(Migrate)는 보다 일반적인 형태의 이동(trek)으로, Catpar뿐만 아니라 성장 부위까지 이동하는 것을 포함한다.

[0039] NT - 나노튜브를 의미한다.

[0040] 플라스몬(Plasmon) - 플라스마 진동하는 양자를 의미한다. 이것은 엑시톤-폴라리톤(exciton-polariton) 및 표면 플라스몬 폴라리톤 등 모든 유형의 플라스몬과 폴라리톤을 포함한다. 본 발명과 관련하여, 올바른 조건 하에서, 전자기 에너지는 표면에서 매질을 통해 에너지를 전파할 수 있는 플라스몬으로 변형될 수 있다.

[0041] 보충 터널(Retun) - 공급원자, 촉매 재료 및/또는 나노튜브 성장을 위한 기타 재료의 보충을 용이하게 하는 기판 또는 도파로 Wavide 내에서 보충 터널 또는 다른 구조를 의미한다. 도 3은 개념상의 보충 터널을 예시한다.

[0042] 기판 조립체 - 기판과, 기판의 전방 면 위에 침착된 공급층, 및 공급층의 전방 면 위에 배열된 촉매층 또는 Catpar, 두 개의 촉매 구성 중 하나를 포함하는 서브시스템을 의미한다.

[0043] 이동팁(Tratip)- 주행하는 마이크로 또는 나노스케일의 플랫폼(platform) 또는 팁(tip)을 의미한다. 나노튜브는 가동 플랫폼인 이동팁의 단부에 부착된 Catpar로부터 성장한다. 플랫폼 또는 팁은 나노스케일 나노튜브 성장 시스템의 이동을 촉진하는 캔틸레버(cantilever) 또는 이와 다른 지지 구조의 일부이다. 따라서, 나노튜브는, 수직으로, 수평으로, 또는 구조화된 나노튜브 성장을 할 수 있도록 하는 각도로 성장될 수 있다. 이동팁은, 캔틸레버에 부착된 원자력 현미경의 감지 팁과 유사하다. 도 9는 이동팁을 예시한다. 대안적으로, 이동팁이 고정되는 한편으로, 나노튜브 성장이 침착되는 타깃 표면 또는 용적이 이동 가능할 수 있다.

[0044] 트렉(Trek) - 활성화된 공급층 또는 공급 저장소로부터 Catpar로 공급원자가 이동하는 공정 또는 공정들을 의미

한다. 트레킹은 트렉의 동사 형태이다.

[0045] 도파로(Wavide) - Emrad 또는 플라스몬 형태로 에너지를 운반하는 기판을 통한 도파로를 의미한다.

2. 발명의 최상 모드

[0046] 삭제

[0047] 도 2는 본 발명에 따른 자유원자 나노튜브 성장의 최상 모드를 예시한다. 도 2에서 실시예는 탄소 공급층의 전방 면에 배열된 Catpar의 어레이를 갖는다. 공급층은 석영 기판의 전방 면 위에 위치한다. 레이저 방사선 형태의 Emrad는 기판 조립체의 전방 면으로 입사한다. 레이저 광자는 공급층으로부터 일부 탄소 공급원자를 유리시키고, 이들 자유원자 중 일부가 Catpar로 이동한다. Catpar에서 탄소 원자 중 일부가 성장하는 CNT에 통합된다.

[0048] ## 3. 발명의 작용

[0049] 반응 챔버에서, 도 1에 도시된 시스템은 CNT를 성장시킨다. 레이저 방사선 형태의 Emrad는, 기판의 하단에 입사하여, Emrad를 투과하는 기판을 통해 전파된다. Emrad는 공급층으로 전파된다. Emrad 에너지의 전부 또는 대부분은 공급층에 흡수된다. 이 에너지는 공급층의 탄소 공급원자 중 일부를 유리시켜, 매우 얇은 철 촉매층을 통해, CNT를 성장시키는 성장 부위까지 이동시킨다(화살표로 표시). 이상적으로, 공급원자는, Catpar로부터 성장하는 CNT의 일부분이 되기 위해 최적의 에너지로 성장 부위까지 운반된다. CNT 성장이 일어나는 화학 반응기의 분위기는 불활성 분위기 Ineratmo이다.

[0050] NT 성장 공정을 구동하는 데 필요한 에너지를 갖춘 공급원자의 타겟팅으로 CVD보다 훨씬 낮은 온도의 성장을 가능하게 한다. 본 발명에 의해 CNT 성장 중에 기판의 온도가 낮아서 Catpar의 표면 위에서 비정질 탄소 축적과 같은 원치 않는 외부 화학 반응을 저감하거나 제거해서, 성장 지속 시간이 증가할 수 있다.

[0051] Ineratmo 환경은 또한 Catpar 위에서 비정질 탄소 축적을 감소시키거나 또는 제거한다. 또한, CVD의 고온 탄소 기체 환경이 제거되기 때문에, 불활성 분위기 Ineratmo는 CNT 표면 위에서 원치 않는 화학 반응으로 성장중인 CNT에 대한 손상을 저감하거나 제거한다.

[0052] 오스트발트 성장은, 작은 Catpar이 일반적으로 촉매원자를 상실하고 큰 큰 Catpar로 되는 열역학 공정이다. 오스트발트 성장이 일어남에 따라, Catpar이 CNT 성장을 유지하기에는 너무 크거나 또는 너무 작아지기 때문에, CNT 성장을 멈추는 Catpar가 더 많아진다. 본 발명으로 가능한 저온 합성은 오스트발트 성장의 속도를 감소시킨다.

[0053] 도 3은, 공급층 대신 Catpar과 기판 사이에 있는 공급 저장소를 포함하는 본 발명의 공급 저장소 실시예를 예시한다. 공급 저장소가 더 클수록, 더 많은 공급원자가 NT 성장에 사용될 수 있다. 이러한 공급 저장소의 크기 또는 공급 저장소에 함유된 공급원자의 양을 가감하므로써, 주어진 성장 실행으로 인한 NT의 길이를 조정하는 것을 포함해서 NT의 성장을 조정할 수 있게된다.

[0054] 도 3의 공급 저장소 Feedvoir 중 하나는, 공급원자, 촉매 재료 및/또는 NT 성장을 위한 다른 재료를 보충하기 위한 기판을 통한 보충터널 Return을 예시한다. 이것은 공급 저장소 실시예의 변형을 나타내고, 여기서 보충 터널이 NT 성장을 위해 다른 저장소로부터 공급원자, 촉매 재료 및/또는 다른 재료의 보충을 용이하게 한다. 이 저장소는, 대부분의 경우 NT가 성장하는 기판에서 떨어져 있다. 이러한 방식으로, 특히, 양산 제조 환경에서 성장하는 경우에, 지속적인 NT 성장이 이루어질 수 있다.

[0055] 공급층과 공급 저장소 모두는 공급원자만을 함유하는 것에 제한되지 않는다. NT의 성장에 유익할 것으로 밝혀진 촉매 또는 다른 재료가 공급층 또는 공급 저장소에서 공급원자에 첨가될 수 있다. 이들 재료는 공급층 또는 공급 저장소의 공급원자와 함께 층을 이루거나 또는 달리 배열되어 성장 공정의 다른 단계에서 유리될 수도 있다.

[0056] 도 9는, 이동팁 상에 Catpar가 있는 TREKANG 특허 출원의 이동팁 실시예를 예시한다. 이 경우, 이동팁은 움직이면서 NT를 성장시킬 수 있어서, NT의 3차원 성장을 가능하게 한다. 이러한 능력으로 NT가 일정 패턴으로 인접한 타깃 표면 위에 퇴적될 수 있다. 본 발명의 다음 실시예는 이동팁과 유사하다.

[0057] 본 발명의 다른 실시예는, 도 5, 6, 및 7에 도시된 브로드팁 시스템이다. 브로드팁 시스템은, 브로드팁 조립체; 브로드팁 기판 조립체; 관절식 아암; 및 함께 3차원 운동을 용이하게 하는 모션 스테이지를 포함한다. TREKANG 출원의 이동팁의 직접적인 유사에서, 브로드팁 시스템은 대형 이동팁이다. 브로드팁 기판 조립체의 스케일은,

이동팁의 경우에 하나의 Catpar 대신 수십 내지 수천의 성장 부위 또는 Catpar이다. 브로드팁 기판 조립체는 너무 큰 플라스몬이어서, 그 공급층 또는 공급 저장소에 에너지를 결합시킬 필요가 없다. 이동팁과 마찬가지로, 브로드팁 조립체는, 관절식 아암 및 인접한 타깃 표면을 가로질러 3차원 운동을 용이하게 하는 모션 스테이지에 장착되고, 인접한 타깃 표면 위에서 브로드팁 시스템은 브로드팁 기판 조립체로부터 성장하는 나노튜브를 증착한다. 브로드팁 기판 조립체로부터 나노튜브 성장에 에너지를 부여하는 Emrad는 브로드팁 기판 조립체의 후방 면으로부터 전파하거나, 브로드팁 기판 조립체에 통합되거나, 또는 투명한 인접 타깃 표면을 통해 전방 면으로부터 브로드팁 기판 조립체로 전파될 수 있다. 실제, 3차원 성장 패턴은, 브로드팁 기판 조립체 상의 Emrad 세기, Emrad 패턴을 조작하고, Emrad 광원(source)을 개폐함으로써 제어될 수 있다.

[0058] **4. 본 발명의 실시방법**

[0059] 기판 조립체 고찰

[0060] 기판 조립체는 전방 면 위에 공급원자의 두꺼운 공급층(~ 150 nm)과 촉매의 얇은 층(~ 3 nm)을 코팅함으로써 만들어진다. 다른 코팅 기술이 또한 사용될 수 있다. 일반적인 기판 요건은, 1) 코팅 기술 공정에서 사용될 것, 2) 다양한 유형의 공급원자와 촉매에 의해 코팅될 것, 3) 공급원자 및 촉매의 용해물이 기판 안으로 비교적 불투과될 것, 4) 가능한 어닐링 공정중 및 NT의 성장 도중에 겪는 임의의 온도를 견딜 수 있을 것을 포함한다. Emrad가 후방 면으로부터 기판으로 입사하는 경우, 기판은 Emrad에 투명해야만 한다.

[0061] 실험에 사용된 기판이 편평하고 매끄러웠지만, 기판은 촉매를 농축하도록 윤곽이 형성되고 Catpar을 배치할 수 있다. Catpar을 형성하기 위한 어닐링이 없는 경우에도, 거칠거나 또는 윤곽이 형성된 기판은, 다른 매끄러운 촉매 층에서 불규칙한 형태로 더 많은 성장 부위를 생성할 것이다. 기판 조립체 특성을 사용하여 공급층 또는 공급 저장소에 전달된 에너지의 양을 조정할 수 있다. 이들 특성은, 기판 윤곽, 두께, 및 투명도와 같은 재료 특성을 포함한다.

[0062] 규소(SI), 질화 붕소(BN), 질화 알루미늄(AlN), 및 질화 갈륨(GN) 등의 다른 나노튜브가 본 발명에 의해 성장될 수 있다. 공급층 조성물은 적절한 공급원자를 제공하도록 변성될 필요가 있을 것이다. Emrad 파장대는 공급원자가 이주하도록 활성화될 필요가 있다. 서로 다른 파장대의 두 개의 Emrad 광원을 사용하여 2종의 공급원자를 활성화할 수 있다.

[0063] 이 나노튜브 성장 기술은, 철, 니켈, 코발트, 구리, 금, 은, 백금, 팔라듐, 망간, 크롬, 주석, 마그네슘, 알루미늄, 이트륨, 바나듐, 몰리브덴, 레늄, 및 이들 금속의 합금 등 모든 금속 촉매와 협동할 것으로 예상한다.

[0064] Emrad에 대한 고찰

[0065] Emrad는, 레이저, LED, 형광등 또는 백열등에 의해 생성될 수 있다. 일반적으로, Emrad 광원은 기판의 외부에 있다. 그러나, LED 또는 나노레이저의 경우에, 이들 광원은 기판의 일부로 제조될 수 있다. 또한, 광학 증폭기는 Emrad 광원을 증폭시키기 위해 개별적으로 또는 기판의 일부로 제조될 수 있다.

[0066] Emrad 광원의 필요조건은, 공급층에 의해 흡수된 파장 또는 파장대를 가질 것, 일단 흡수되면 흡수하는 공급원자에 충분한 에너지를 부여하여 이들이 자유롭게 이주하도록 할 것을 포함한다. 이어서, 이들 자유원자는 성장 부위 또는 Catpar에서 NT를 형성할 것이다. 이 Emrad의 파장은 가능한 한 짧아야 하고, 실험을 실행하는 데 필요한 레이저 파워, 코스트, 및 안전성과 같은 다른 기준에도 맞아야 한다. 405 nm 파장의 레이저와 365 nm LED 램프가 실험을 위해 선택되었다.

[0067] 본 발명의 특징은, Emrad를 중단함으로써 NT 성장을 일시 정지시키거나 또는 정지시킬 수 있다는 것이다. 이것은, 다단계 성장 시나리오에서, NT 길이의 미세한 조정 또는 NT 성장의 서로 다른 단계들을 정확하게 시작하고 끝내는 방식을 허용할 수 있다.

[0068] 불활성 분위 Ineratmo기에 대한 고찰

[0069] 불활성 분위 Ineratmo기는 분위기 기체로부터 외부 반응을 완화한다. 본 발명에서 NT 성장을 위한 공급원자가 분위기 기체로부터 나오지 않기 때문에 분위기의 구성 기체, 압력 및 온도가 NT 성장을 최적화하도록 조절될 수 있다. 불활성 분위 Ineratmo기의 구성 성분, 온도 및 압력의 제어를 용이하게 하도록 불활성 분위기 기체를 순환, 여과, 교환, 모니터 및/또는 변경시킬 수 있어서, 반응 챔버에서 최적의 분위기를 유지한다. 최종적으로, 성장을 계속하고, NT 특징을 변화시키며, NT를 관능화시키기 위해 필요에 따라 성장 공정중에 불활성 분위기를 변경할 수 있다.

[0070] 기타 고려 사항

[0071] NT의 성장 및 관능화를 측정 및 제어하기 위해 실시간 진단 측정을 사용할 수 있다. 이들 진단으로, NT 성장속도 및 구조, 촉매 온도, 압력과 조성물, 공급원자 운반과, 불활성 분위기 조성물, 온도 및 압력을 포함한다.

[0072] 자유원자 나노튜브 성장 기술은 원자의 집합체를 성장시키는 데 적합하게 개조할 수 있어서, 정확하게 제어된 방식으로 분자, 구조, 형상 및 기구를 형성한다. 이들 집합체 형성 공정은, 집합체의 형성을 용이하게 하도록 촉매를 요구하거나 또는 요구하지 않을 수 있다.

[0073] **5. 실험 실시예**

[0074] TREKANG 특허 출원에서 청구된 원리에 기초한 원리증명 실험(Proof-of-principle experiment)이 수행되었고 계속되고 있다. 실험의 결과는 이 특허 출원, 자유원자 나노튜브 성장(FANG) 출원의 기초가 된다.

[0075] 기본적인 원리증명 실험 세트를 개발하여 실행하였다. TREKANG 개념을 대폭적으로 단순화한 것은 도파로 Wavide가 없다는 점이다. Wavide는 성장을 자극하는 에너지를 Catpar 부근의 공급층에 전달하도록 고안되었다. 현재 실험은 Wavide가 필요하지 않음을 입증한다. 나노튜브가 성장될 수 있는 파라미터 공간을 결정하기 위한 추가 실험이 계속되고 있다.

[0076] 도 1은 대부분의 실험에 대한 실험 구성의 개략적인 예시이다. 2인치 직경, 6mm 두께의 석영 디스크가 기판으로 사용되었다. 140nm의 탄소 층이 기판의 전방 표면에 스퍼터링되어 탄소 공급원자를 갖는 공급층을 형성하였다. 스퍼터링된 탄소는 비정질 탄소 층을 형성한다. 탄소 공급층의 전방 면 위에 2 ~ 3 nm의 철 층이 스퍼터링되었다. 철은 탄소 나노튜브 성장을 위한 촉매이다. 철 층은, 기판과 그 탄소 및 철 층으로 이루어진 기판 조립체를 완성한다. 그림의 하단으로부터 들어가서 석영 기판을 가로지르는 Emrad는 대부분 탄소 층에서 흡수된다. 대부분의 실험에서, Emrad 광원은 405 nm 근자외선 레이저였다. 다른 실험은 365 nm UV LED 램프를 사용하였다. 화학 반응기 챔버의 분위기 Ineratmo는 아르곤 기체로 구성되었다. 도 1은 탄소 나노튜브가 Catpar 형성 없이 성장한다는 예상 외의 특성을 또한 예시한다. 해상도의 한계까지, 주사전자현미경 상은 철 층의 표면 밖으로 성장하는 탄소 나노튜브를 보여준다.

[0077] 도 2는, 본 발명의 최상 모드인 다른 실험 구성의 개략적인 예시이다. 도 1과 도 2의 한 가지 차이는, 촉매 층이 어닐링되어 Catpar을 형성했다는 것이다. 두 번째 차이는, 대부분의 실험에서 Emrad 레이저 방사선이 기판 조립체의 전방 면으로부터 입사한다는 것이다. 탄소 나노튜브는 실험 중 일부에서 Catpar로부터 성장되었다. 대부분의 실험은, 전방 면이 Emrad 광원을 향할 때 조립체의 삽입과 추출이 더 간단하기 때문에, 기판 조립체의 전방 면으로부터 입사되는 방사선으로 실행되었다. 그러나, 실험은 석영 기판의 양면을 조명하는 Emrad로부터 NT 성장을 보여주었다.

[0078] 도 4는 기본 실험 구성을 개략적으로 예시한다. 기판은 전방 면 또는 후방 면이 레이저 또는 램프에 면하면서 기판 마운트 위에 장착될 수 있다. 도 4에는 기판 마운트에 부착된 히터와 열전쌍은 도시되지 않는다.

[0079] 최적 온도, 압력, 방사선 조도(radiation irradiance), 방사선 파장, 탄소 층 두께, 및 철 층 두께가 결정되지 않았다. 탄소 나노튜브는, 주위 온도 및 200℃; 50 내지 200 Torr 범위의 아르곤 기체 압력; 평방 센티미터당 수 내지 수십 밀리와트의 조도; 및 405 및 365 nm 방사선의 파장에서 기판에 성장시켰다. 실험은 NT 성장 파라미터 공간을 배치하기 위해 계속된다.

[0080] 6. 본 발명의 사용 방법

[0081] 연구용 실험실에서, 자유원자 나노튜브 성장 기술에 따라, 연구원들은 대량의 긴 고품질 NT를 성장시킬 수 있고, NT 및 이들 재료를 사용하여 형성된 거시적 집합체의 성질에 대한 연구를 자극할 것이다. CNT의 경우에, 이들 특성으로서, 매우 높은 인장 강도, 높은 열전도도, 일부 키랄성(chirality)에 대한 낮은 전도도 및 매우 높은 전기 전류 밀도를 유지하는 능력, 및 다른 키랄성에 대한 반도체 특성을 포함한다. BNNT의 경우에, 흥미로운 특성은, 높은 인장 강도, 높은 열전도도, 낮은 전기 전도도, 및 붕소의 존재에 기초한 중성자 흡수를 포함한다. 실제로, 긴 고품질 NT는, 현재 이용 가능한 NT로는 가능하지 않은 특성과 응용을 드러낼 수 있다. 또한, 긴 고품질 나노튜브는, 1) 고강도 구조체; 2) 고전도율 전도체, 와이어, 마이크로스케일 및 나노스케일의 집적 회로, 마이크로스케일 및 나노스케일의 트랜지스터, 다이오드, 게이트, 스위치, 레지스터, 커패시터, 단일 센서, 및 어레이; 3) 수신기, 렉테나(rectennas) 또는 전자방사선 방사 구조체; 4) 생물학적 성장을 촉진 또는 방지하기 위한 표면 형상; 5) 특별한 광학성, 반사특성, 간섭 특성 또는 회절 특성을 갖는 표면; 6) 화학 반응을 촉진 또는 방지하기 위한 표면; 7) 강도, 경도, 유연성, 밀도, 다공성 등을 포함하는 특정 재료 특성을 갖는 구조체;

및 8) 전기 자극 (전계 방출) 하에서 전자 등의 입자를 방출하는 표면을 구성할 수 있다.

[0082] FANG 나노튜브 성장을 위한 방법은, 1) 원하는 조도(roughness)와 윤곽형성(contouring)을 갖도록 그 표면을 변형시키는 것을 포함하는, 기판을 제조하는 단계; 2) 기판 위에 공급층을 놓는 단계; 3) 공급층의 표면 위에 촉매의 박막을 놓아서 기판 조립체를 완성하는 단계; 4) 어닐링에 의해 촉매 박막으로부터 Catpar을 형성하는 단계; 5) 반응 챔버에 조립체를 설치하고 챔버를 밀봉하는 단계; 6) 반응 챔버의 분위기를 불활성 분위 Ineratmo기로 대체하는 단계; 7) 기판 조립체의 온도와 불활성 분위 Ineratmo기의 압력을 조절하는 단계; 8) 성장 부위 또는 Catpar로 이주하도록 공급원자를 활성화시키기 위해 Emrad 광원을 기동하는 단계; 및 9) 원하는 NT 성장 결과를 이루도록 일정 시간 간격 동안 시스템을 작동시키는 단계를 포함할 것이다.

[0083] FANG 브로드팁 시스템의 경우에, 나노튜브 성장에는, 1) 적절한 크기 조정(sizing)과, 원하는 조도 및 윤곽형성을 갖도록 그 표면을 개질하는 것을 포함하는, 브로드팁 기판 조립체용 기판을 조제하는 단계; 2) 브로드팁 기판 위에 공급층을 놓는 단계; 3) 공급층의 표면 위에 촉매의 박막을 놓아서 브로드팁 기판 조립체를 완성하는 단계; 4) 촉매 박막으로부터 Catpar을 형성하는 단계; 5) 브로드팁 기판을 브로드팁 조립체에 설치하는 단계; 6) 브로드팁 조립체를 관절식 아암에 부착하는 단계; 7) 관절식 아암을 모션 스테이지에 부착시켜 브로드팁 시스템 구성을 완성하는 단계; 8) 나노튜브의 패턴이 증착될 타깃 표면을 반응 챔버에 설치하는 단계; 9) 도선을 접속하는 것과 챔버를 밀봉하는 것을 포함하는, 반응 챔버에 브로드팁 시스템을 설치하는 단계와; 10) 반응 챔버의 분위기를 불활성 분위 Ineratmo기로 대체하는 단계; 11) 브로드팁 기판 조립체의 온도와 불활성 분위 Ineratmo기의 압력을 조절하는 단계; 및 12) 성장과, 타깃 표면 위에 원하는 패턴을 증착시키는 동작을 개시하기 위해, 자동화된 NT 성장 및 동작 제어 시스템을 개시하는 단계를 포함할 것이다.

[0084] 연구원이 NT를 성장시키기 위해 Catpar을 사용하고 싶지 않으면, 이전의 절차 양쪽 모두에서 단계 4는 제거될 수 있다.

[0085] 본 발명자는, 본 발명을 긴 고품질 NT를 대량으로 생성하는 산업 공정으로 전환시키는 것을 구상한다. 도 8은 이러한 구상을 개략적으로 예시한다. 도 8은 반응 챔버 내부의 측면도를 도시한다. 5개의 조립체 각각은, 레이저 위에 놓이고 Catpar가 위에 배열되어 있는 기판으로 구성된다. 레이저로부터 기판의 후방 면까지 광자를 운반하는 렌즈가 사이에 있다. 5개 기판의 전방 표면 위에는 "인발 막대 하비스터(draw bar harvester)"가 있다. NT 성장이 일정 시간 동안 진행되면, 막대가 아래로 움직이고, 성장하는 NT 표면에 부착된 다음, 성장과 보조를 맞추어 올라간다. NT를 수거할 준비가 되면, 산업용 레이저가 기판 조립체 높이 위로, NT를 절단한다. 다음으로, 막대는 수거된 NT를 반응 챔버 밖으로 처리 위치까지 운반한다. 다른 바가 안으로 이동하고, 성장하는 NT의 상단을 획득하며, 공정이 계속된다.

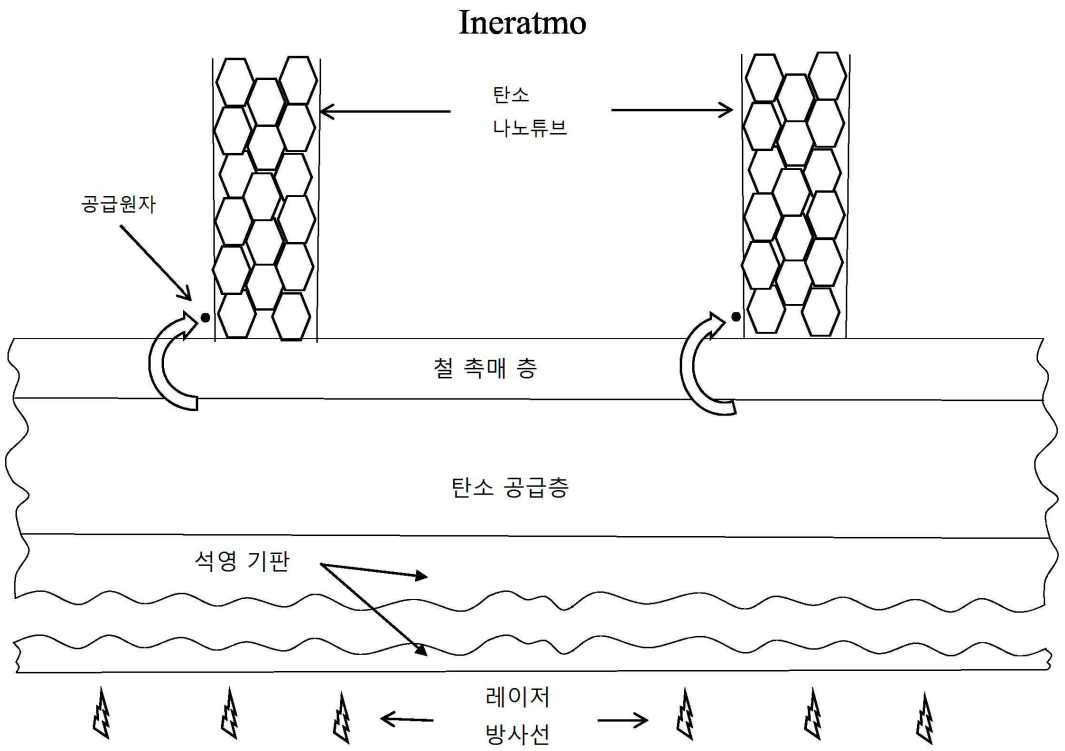
[0086] 도 7은, 브로드팁 시스템의 경우 자유원자 나노튜브 성장 기술에 대한 산업 공정의 다른 실시예를 위에서 바라본 부감도(overhead view)이다. 관절식 아암이 부착되고, 다시 모션 스테이지에 부착되는 브로드팁 조립체는 3차원으로 움직인다. 또한, 효율적으로 수직 NT를 증착시키기 위해, 브로드팁 조립체는 또한 두 축으로 회전한다. 두 개의 높아진 플랫폼과 도면의 경사진 표면은 수직 NT 및 NT 브리지 구조 특징을 용이하게 한다. 표면 위에 증착된 NT의 다양한 형태의 패턴은 본 발명자에 의해 구상된 바와 같이 이 시스템의 잠재적인 능력을 예시한다.

[0087] 긴 고품질 NT의 양산이란, 이들 재료가 점진적으로 풍부해지고 저렴하게 될 것임을 의미한다. CNT의 경우에, 이들의 주목할 만한 인장 강도와 전기적 특성으로, 기존 상품을 제조하는 새로운 방식이 개발될 것이고, 우수한 재료 특성을 사용하여 새로운 제품이 발명될 것이다. 아마도 모든 기존 재료를 인장 강도에서 한 자릿수 이상 초과하는 CNT 고강도 재료는 지상의 삶을 혁신적으로 변화시킬 것이다. 또한, 패턴화된 성장 기술로, 나노미터 스케일 길이에서 생성된 CNT 전기 부품은 더 작고, 더 낮은 전력의 집적 회로를 가능하게 할 것이고, 인간 사회를 변화시킬 것이다. 가장 극적인 사례는, 고강도 CNT가 우주 엘리베이터를 가능하게 하여, 강화된 지구 관측, 우주 기반 태양 에너지, 소행성 채광, 행성 방어, 및 우리 태양계의 달과 행성을 식민지화하는 형태로 인류에게 우주의 자원을 개방하는 것일 수 있다.

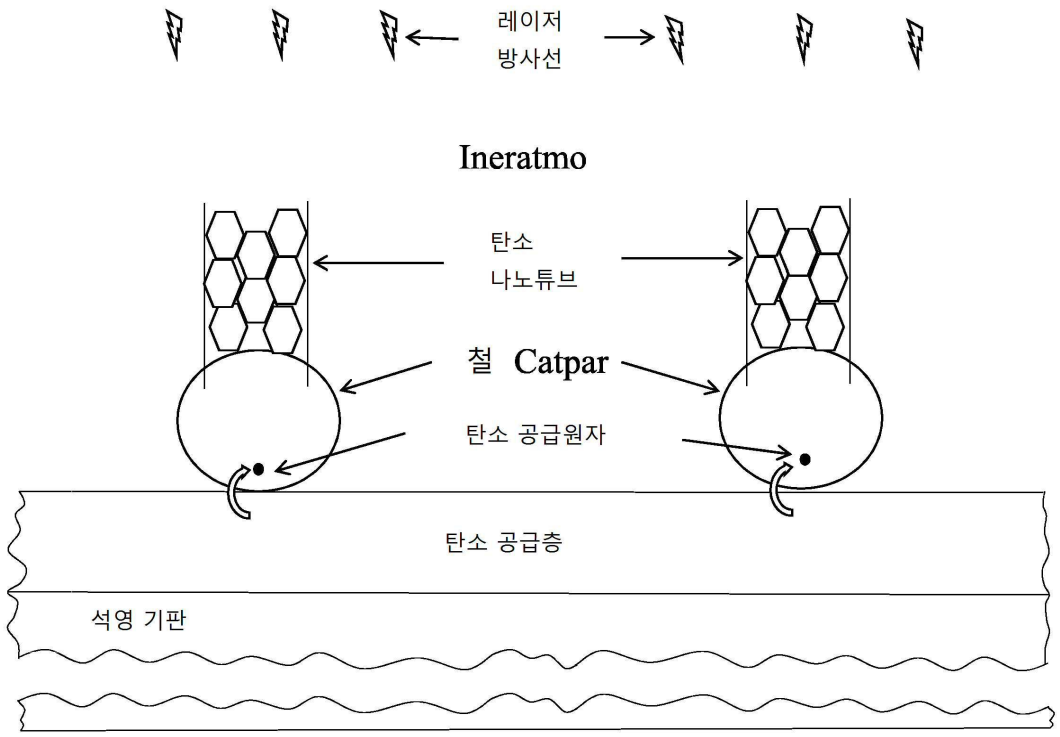
[0088] 본 발명은 도면을 참조하여 기술된 바람직한 특정 실시예에 제한되지 않고, 첨부된 청구항 및 그 동등한 것에 한정된 바와 같이 본 발명의 범위로부터 벗어나지 않으면서 변형이 이루어질 수 있음이 당업자에 의해 이해될 것이다.

도면

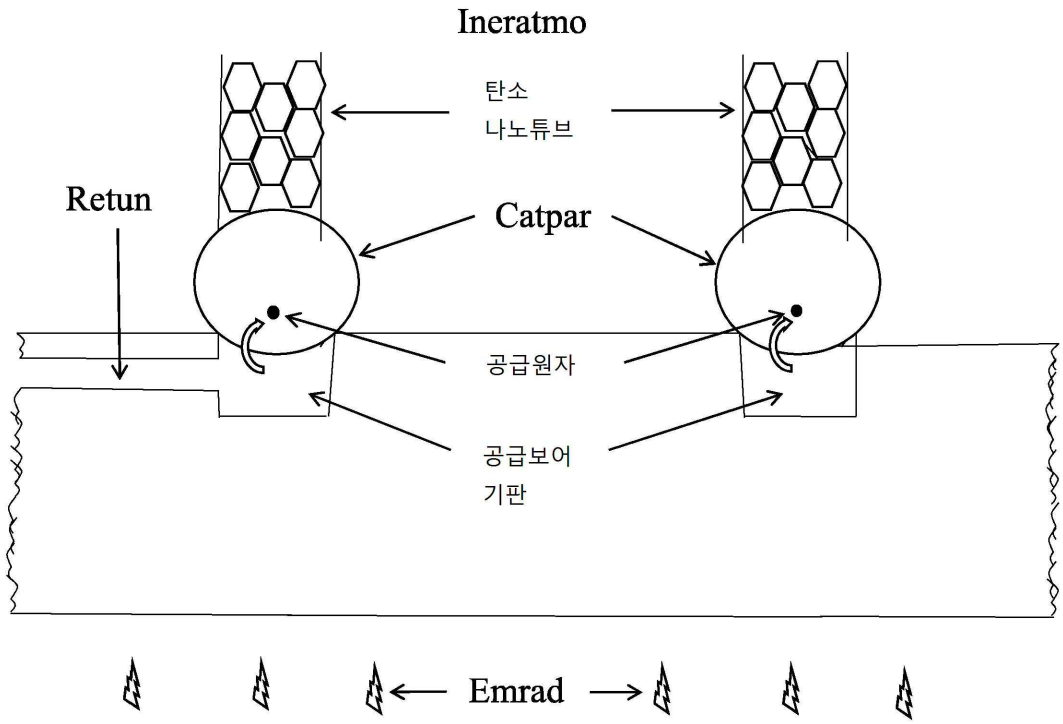
도면1


Ineratmo
탄소
나노튜브
공급원자
철 촉매 층
탄소 공급층
석영 기판
레이저
방사선

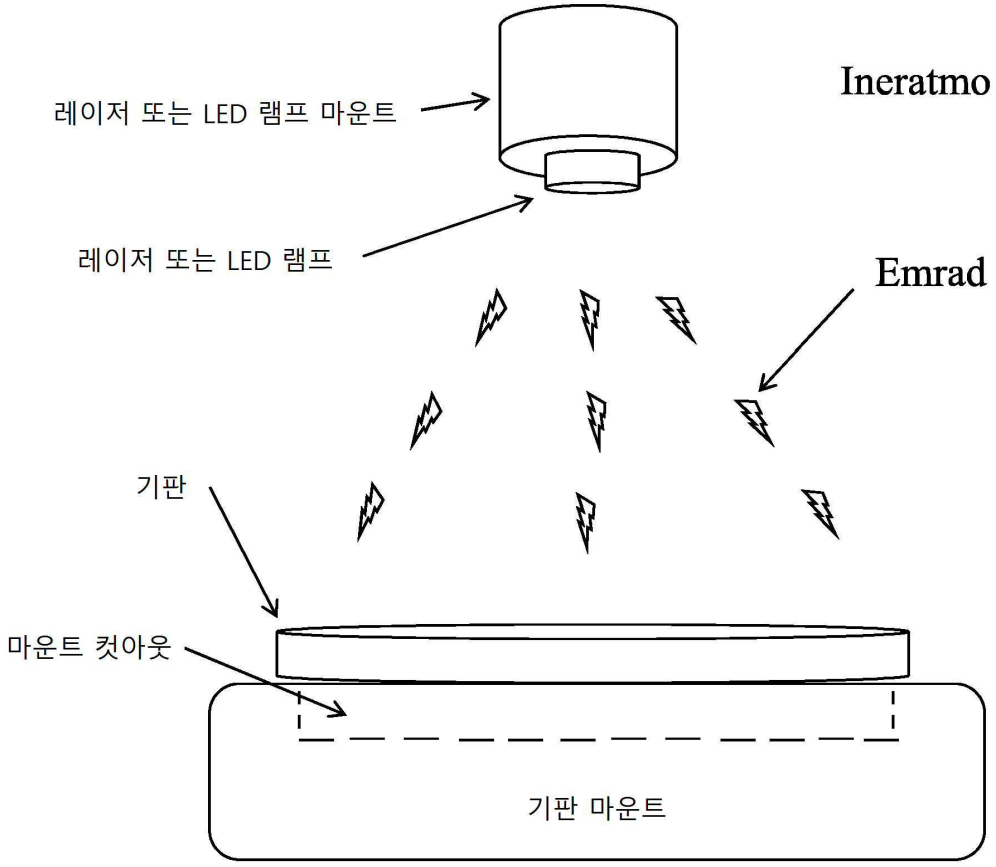
도면2


레이저
방사선
Ineratmo
탄소
나노튜브
철 Catpar
탄소 공급원자
탄소 공급층
석영 기판

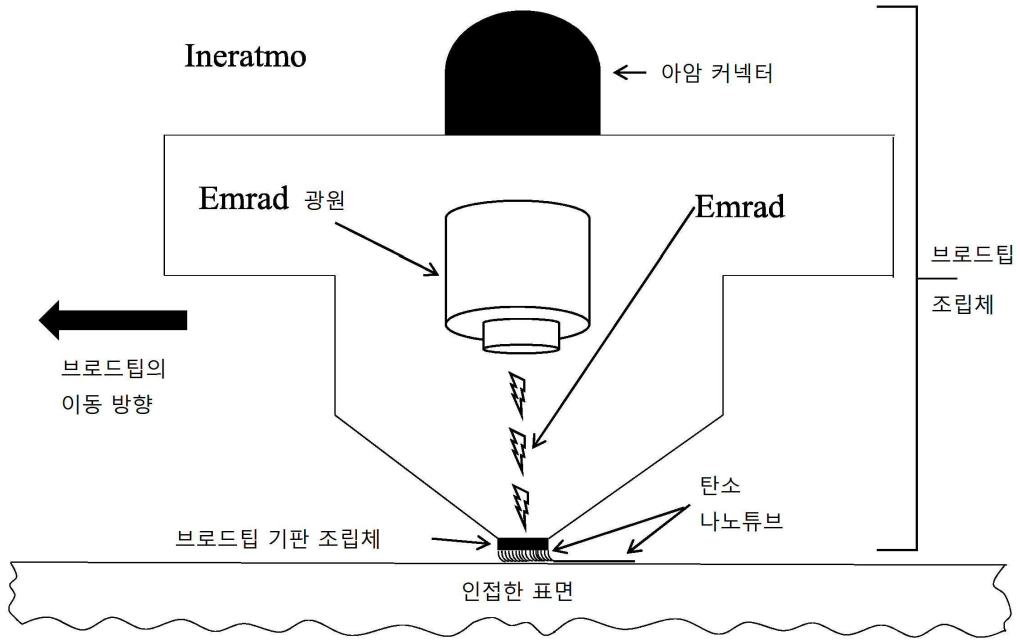
도면3


Ineratmo
탄소
나노튜브
Retun
Catpar
공급원자
공급보어
기판
Emrad

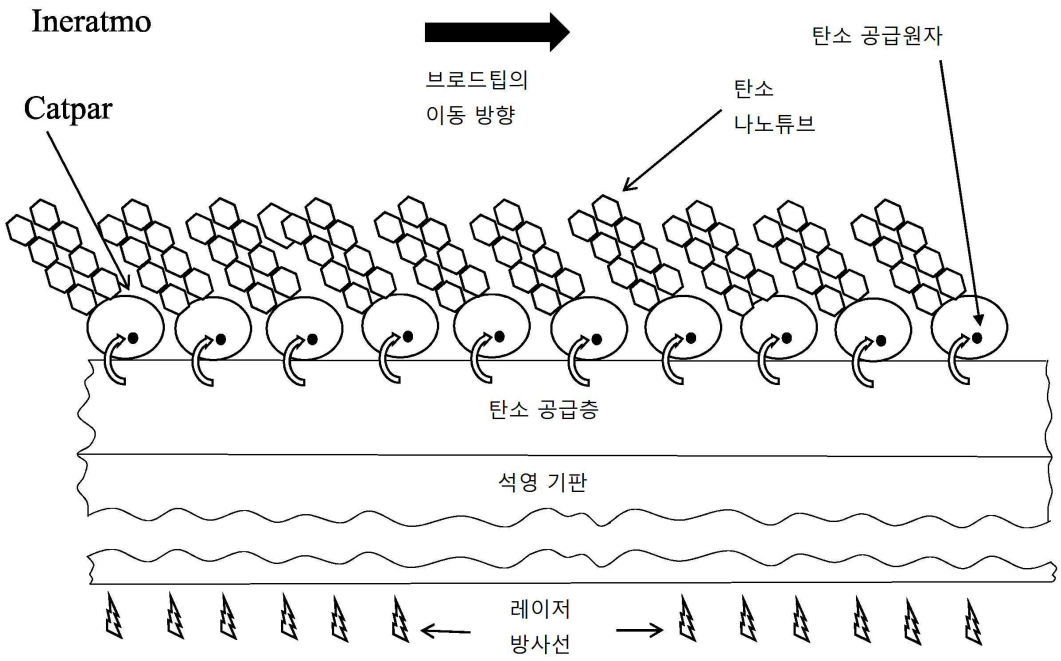
도면4


레이저 또는 LED 램프 마운트
Ineratmo
레이저 또는 LED 램프
Emrad
기판
마운트 컷아웃
기판 마운트

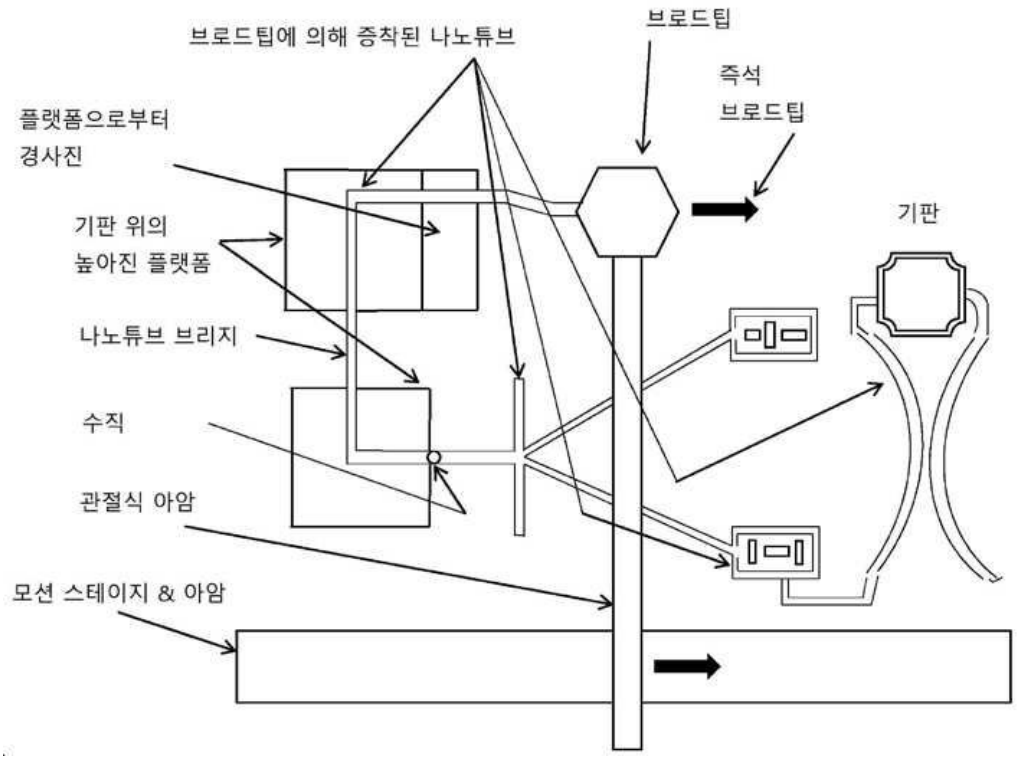
도면5


Ineratmo
아암 커넥터
Emrad 광원
Emrad
브로드팁
조립체
브로드팁의
이동 방향
탄소
나노튜브
브로드팁 기판 조립체
인접한 표면

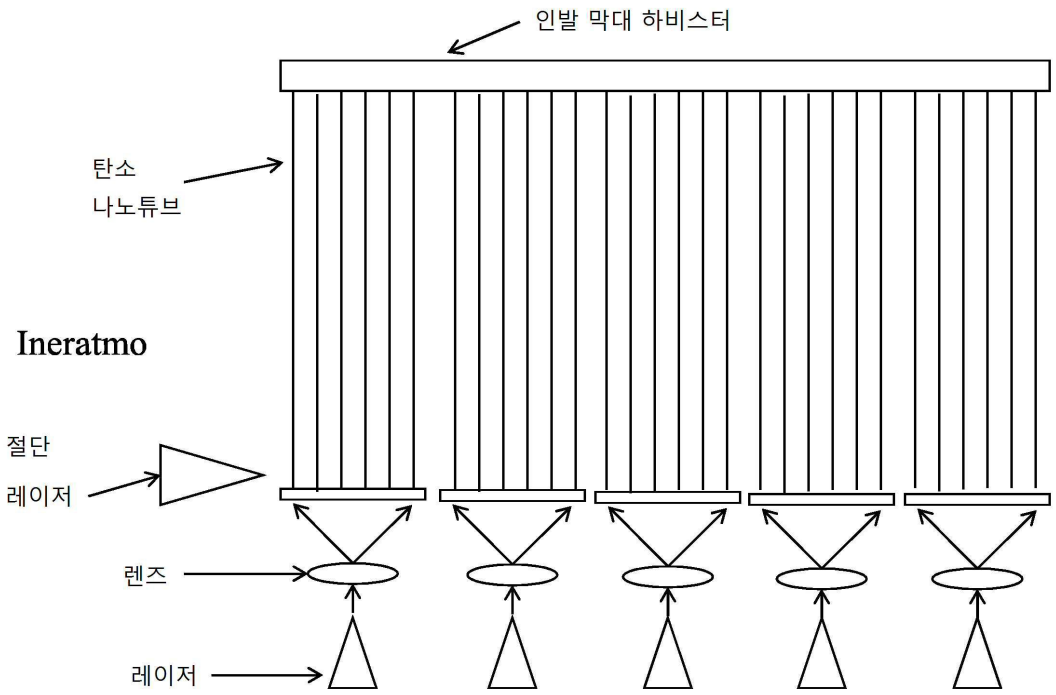
도면6


Ineratmo
Catpar
브로드팁의
이동 방향
탄소 공급원자
탄소
나노튜브
탄소 공급층
석영 기판
레이저
방사선

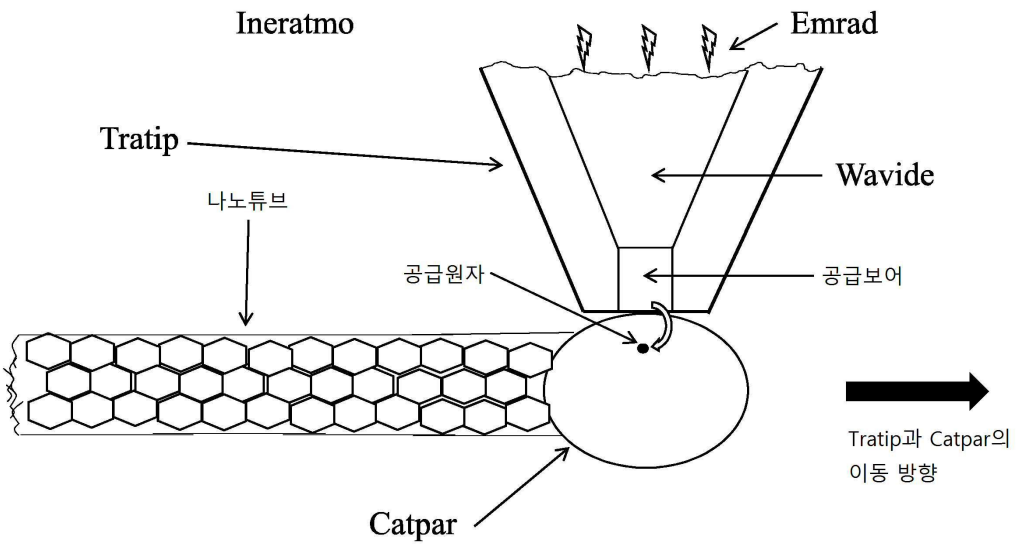
도면7


브로드팁에 의해 증착된 나노튜브
브로드팁
즉석
브로드팁
플랫폼으로부터
경사진
기판
기판 위의
높아진 플랫폼
나노튜브 브리지
수직
관절식 아암
모션 스테이지 & 아암

도면8


인발 막대 하비스터
탄소
나노튜브
Ineratmo
절단
레이저
렌즈
레이저

도면9


Ineratmo
Emrad
Tratip
Wavide
나노튜브
공급원자
공급보어
Tratip과 Catpar의
이동 방향
Catpar