



(19) 대한민국특허청(KR)  
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2017-0116855  
(43) 공개일자 2017년10월20일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)

C23C 16/26 (2006.01) C01B 31/04 (2006.01)  
C23C 16/452 (2006.01) C23C 16/455 (2006.01)  
C23C 16/458 (2006.01) C23C 16/52 (2006.01)  
C30B 25/16 (2006.01)

(52) CPC특허분류

C23C 16/26 (2013.01)  
C01B 32/186 (2017.08)

(21) 출원번호 10-2016-0045046

(22) 출원일자 2016년04월12일

심사청구일자 2016년04월12일

(71) 출원인

연세대학교 산학협력단

서울특별시 서대문구 연세로 50 (신촌동, 연세대학교)

(72) 발명자

여중석

인천광역시 연수구 컨벤시아대로130번길 100,  
1806동 2503호(송도동, 더샵 그린워크3차)

한재현

경기도 의왕시 부곡북지관길 41, 107동 503호(삼  
동, 대우이안아파트)

(74) 대리인

김연권

전체 청구항 수 : 총 16 항

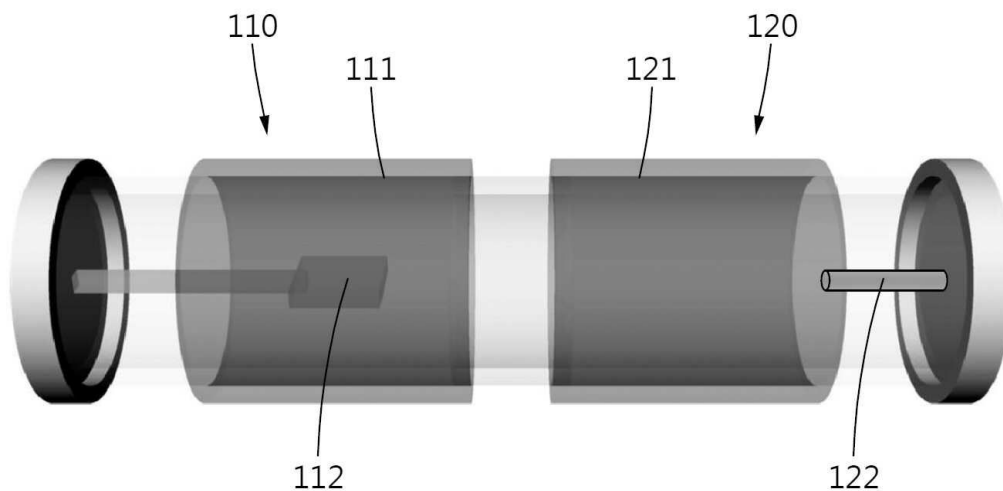
(54) 발명의 명칭 레이어 제어 기반 합성 장치 및 방법

### (57) 요약

본 발명은 레이어 제어 기반 합성 장치 및 방법을 개시한다. 본 발명의 일 실시예에 따른 레이어 제어 기반 합성 장치는 제1 물질의 모노레이어(monolayer)가 합성되는 제1 히팅존; 및 상기 제1 히팅존과 구분되고, 활성화된(activated) 제2 물질의 소스 가스를 상기 제1 히팅존으로 공급하는 제2 히팅존을 포함하고, 상기 활성화된 제2 물질의 소스 가스는 상기 제1 물질의 모노레이어 상에 핵형성(nucleation)되어 합성 구조체가 형성되는 것을 특징으로 한다.

대표도 - 도1

100



(52) CPC특허분류

*C01B 32/188* (2017.08)

*C23C 16/452* (2013.01)

*C23C 16/45525* (2013.01)

*C23C 16/4584* (2013.01)

*C23C 16/52* (2013.01)

*C30B 25/16* (2013.01)

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호 IITP-2015-R0346-15-1008

부처명 미래창조과학부

연구관리전문기관 정보통신기술진흥센터

연구사업명 ICT명품인재양성사업

연구과제명 글로벌융합기술원

기 여 율 1/1

주관기관 연세대학교 산학협력단

연구기간 2010.09.01 ~ 2019.12.31

---

## 명세서

### 청구범위

#### 청구항 1

제1 물질의 모노레이어(monolayer)가 합성되는 제1 히팅존; 및  
상기 제1 히팅존과 구분되고, 활성화된(activated) 제2 물질의 소스 가스를 상기 제1 히팅존으로 공급하는 제2 히팅존  
을 포함하고,  
상기 활성화된 제2 물질의 소스 가스는 상기 제1 물질의 모노레이어 상에 핵형성(nucleation)되어 합성 구조체가 형성되는 것을 특징으로 하는 레이어 제어 기반 합성 장치.

#### 청구항 2

제1항에 있어서,  
상기 제1 물질 및 상기 제2 물질은 동일한 이차원 물질이고,  
상기 합성 구조체는 호모 에피택셜 성장(homo-epitaxial growth)의 층수 제어 가능한(layer-controlled) 멀티 레이어 구조를 포함하는 것을 특징으로 하는 레이어 제어 기반 합성 장치.

#### 청구항 3

제2항에 있어서,  
상기 멀티레이어 구조는 버널 스택(Bernal stacked) 구조를 포함하는 것을 특징으로 하는 레이어 제어 기반 합성 장치.

#### 청구항 4

제2항에 있어서,  
상기 제1 물질 및 상기 제2 물질은 동일한 이차원 물질이고,  
상기 제1 히팅존보다 상대적으로 높은 온도 환경의 상기 제2 히팅존의 활성화된 이차원 물질의 소스 가스를 기반으로 제1 히팅존의 모노레이어 상에 반데르발스 에피 성장의 반복을 통하여 멀티레이어의 이차원 물질이 합성되는 것을 특징으로 하는 레이어 제어 기반 합성 장치.

#### 청구항 5

제4항에 있어서,  
상기 제1 물질 및 상기 제2 물질은 그래핀이고,  
700℃ 내지 900℃ 범위의 상기 제1 히팅존에서의 온도 환경과, 1,000℃ 내지 1,200℃ 범위의 상기 제2 히팅존에서의 온도 환경 하에서, 합성 시간의 제어를 통하여 상기 제1 히팅존에서 멀티레이어 그래핀이 합성되는 것을 특징으로 하는 레이어 제어 기반 합성 장치.

## 청구항 6

제1항에 있어서,

상기 제1 물질 및 상기 제2 물질은 서로 상이한 이차원 물질이고,

상기 합성 구조체는 헤테로 에피택셜 성장(hetero-epitaxial growth)의 층수 제어 가능한 멀티레이어 구조를 포함하는 것을 특징으로 하는 레이어 제어 기반 합성 장치.

## 청구항 7

제1항에 있어서,

상기 제1 물질은 이차원 물질이고,

상기 제2 물질은 삼차원 물질이며,

상기 합성 구조체는 층수 제어 가능한 하이브리드 구조를 포함하는 것을 특징으로 하는 레이어 제어 기반 합성 장치.

## 청구항 8

제1항에 있어서,

상기 제2 히팅존은

상기 제1 히팅존으로 상기 활성화된 제2 물질의 소스 가스를 공급하는 가스 라인과, 상기 가스 라인을 특정 온도 환경으로 가열하는 가열 수단으로 형성되는 레이어 제어 기반 합성 장치.

## 청구항 9

활성화된 복수 개의 물질 소스가 순차적으로 합성되는 성장 챔버; 및

상기 활성화된 복수 개의 물질 소스를 상이한 온도 환경 하에서 상기 성장 챔버로 구분하여 공급하는 복수 개의 히팅존

을 포함하고,

상기 활성화된 복수 개의 물질 소스는 상기 복수 개의 히팅존으로부터 각각 상기 성장 챔버로 순차적으로 공급되며 상기 성장 챔버에서 핵형성되어, 복수 개의 물질 기반의 합성 구조체가 형성되는 것을 특징으로 하는 레이어 제어 기반 합성 장치.

## 청구항 10

제9항에 있어서,

상기 복수 개의 히팅존은 동일한 이차원 물질의 활성화된 복수 개의 물질 소스를 상기 성장 챔버로 제공하고,

상기 합성 구조체는 호모 에피택셜 성장의 층수 제어 가능한 멀티레이어 구조를 포함하는 것을 특징으로 하는 레이어 제어 기반 합성 장치.

## 청구항 11

제9항에 있어서,

상기 복수 개의 히팅존은 상이한 이차원 물질에 대한 활성화된 복수 개의 물질 소스를 각각 상기 성장 챔버로

제공하고,

상기 합성 구조체는 헤테로 에피텍셀 성장의 층수 제어 가능한 멀티레이어 구조를 포함하는 것을 특징으로 하는 레이어 제어 기반 합성 장치.

#### 청구항 12

제9항에 있어서,

상기 복수 개의 히팅존은 이차원 물질 및 삼차원 물질 중 선택되는 어느 하나에 대한 각각 상이한 활성화된 복수 개의 물질 소스를 상기 성장 챔버로 제공하고,

상기 합성 구조체는 층수 제어 가능한 하이브리드 구조를 포함하는 것을 특징으로 하는 레이어 제어 기반 합성 장치.

#### 청구항 13

제9항에 있어서,

상기 복수 개의 히팅존은 상기 성장 챔버를 중심으로 배치되는 것을 특징으로 하는 레이어 제어 기반 합성 장치.

#### 청구항 14

모노레이어의 물질이 합성되는 챔버를 갖는 합성 히팅존과, 상기 합성 히팅존과 구분되고 상기 물질의 활성화된 소스 가스를 상기 챔버로 공급하여 상기 모노레이어 상에 핵형성되어 합성 구조체가 형성되도록 하는 소스 히팅존을 구비하는 합성 유닛; 및

상기 합성 구조체가 형성되는 스테이지를 구비하고, 상기 스테이지가 상기 챔버 내로 인입 및 인출되도록 상기 스테이지에 회전력을 제공하는 로테이터

를 포함하고,

상기 합성 유닛은 상기 로테이터를 중심으로 적어도 하나 이상이 배치되는 것을 특징으로 하는 레이어 제어 기반 합성 장치.

#### 청구항 15

제14항에 있어서,

상기 로테이터는

적어도 하나 이상의 합성 유닛의 챔버 각각에 대하여 상기 스테이지를 인입 및 인출하여 순차적으로 모노레이어가 형성되도록 제어하는 것을 특징으로 하는 레이어 제어 기반 합성 장치.

#### 청구항 16

제1 히팅존에서 제1 물질의 모노레이어를 합성하는 단계; 및

상기 제1 히팅존과 구분되는 제2 히팅존으로부터 활성화된 제2 물질의 소스 가스를 상기 제1 히팅존으로 공급하여 상기 모노레이어 상에 상기 활성화된 제2 물질의 소스 가스가 핵형성되어 합성 구조체를 형성하는 단계

를 포함하는 레이어 제어 기반 합성 방법.

## 발명의 설명

### 기술 분야

- [0001] 본 발명은 레이어 제어 기반 합성 장치 및 방법에 관한 것으로, 보다 상세하게는 멀티 히팅존을 구비한 레이어 제어 기반 합성 장치 및 이를 이용한 레이어 제어 기반 합성 방법에 관한 것이다.

### 배경 기술

- [0003] 이차원 물질(two-dimensional material)(2D material)은 원자들이 소정의 결정 구조를 이루고 있는 단층(single-layer) 또는 반층(half-layer)의 고체로, 대표적인 이차원 물질로 그래핀(graphene)이 있다.
- [0004] 그래핀은 탄소 원자들이 육방정계(hexagonal) 구조를 이루고 있는 단층(단원자층) 구조물이다. 그래핀은 디랙 포인트(Dirac point)를 기준으로 대칭적인 밴드 구조를 가질 수 있고, 디랙 포인트(Dirac point)에서 전하의 유효 질량(effective mass)이 매우 작기 때문에, 실리콘(Si) 보다 최소 10배 이상(크게는 1000배 이상) 빠른 전자 이동도를 가질 수 있다. 또한, 그래핀은 매우 큰 페르미 속도(Fermi velocity)(VF)를 가질 수 있다.
- [0005] 그래핀을 합성하기 위한 방법으로는 화학적 박리법과 화학기상 증착법(chemical vapor deposition: CVD) 등이 있는데, 화학 기상 증착법을 이용하여 합성된 그래핀의 경우, 대면적의 그래핀이 실질적으로 공유결합으로 연결되어 있어, 화학적 박리법으로 합성된 그래핀에 비하여 대면적 합성이 우수하고 개선된 면저항 및 투과도 특성을 보인다.
- [0006] 또한, 화학기상증착법을 이용하여 그래핀을 합성하는 경우, 자기 제한 성장(self-limiting growth)으로 인해, 성장용 기관의 대부분의 영역에 있어서 하나의 층인 모노레이어(monolayer)로 형성된다. 그러나 모노레이어 그래핀의 경우, 밴드갭의 부재(zero band gap)로 인해 광전자 기기로서의 응용이 제한적이다.
- [0007] 한편, 버널 스택(Bernal stacked) 구조의 바이레이어(bilayer) 그래핀과 능면체 스택(rhombohedral-stacked) 구조의 트리레이어(trilayer) 그래핀이 경우, 밴드갭이 유도되어 이러한 단점을 해결할 수 있다.
- [0008] 이러한 그래핀에 대한 연구를 시작으로 절연성 또는 반도체 특성을 갖는 다양한 이차원 물질에 대한 연구 및 개발이 이루어지고 있다. 이차원 물질에 대한 연구는 일차적으로는 후레이크(flake) 형태에서 기본적인 물성을 파악하고, 대면적 성장을 위한 성장법을 개발하는 방향으로 진행되어 왔다. 또한, 최근에는 서로 다른 이차원 물질을 적층(stack) 하는 기술로 그 영역이 확장되고 있다.
- [0009] 금속 디칼코게나이드(metal dichalcogenides)는 전이금속과 칼코겐의 화합물로서 그래핀과 유사한 구조를 가지는 나노 재료이다. 그 두께는 원자 수 층의 두께로 매우 얇기 때문에 유연하고 투명한 특성을 가지며, 전기적으로는 반도체, 도체 등의 다양한 성질을 보인다.
- [0010] 특히, 반도체 성질의 금속 칼코게나이드의 경우 적절한 밴드갭(band gap)을 가지면서 수백  $\text{cm}^2/\text{V} \cdot \text{s}$ 의 전자 이동도를 보이므로 트랜지스터 등의 반도체 소자의 응용에 적합하고 향후 유연 트랜지스터 소자에 큰 잠재력을 가지고 있다.
- [0011] 금속 칼코게나이드 물질 중 가장 활발히 연구되고 있는  $\text{MoS}_2$ ,  $\text{WS}_2$  등의 경우 단층 상태에서 다이렉트 밴드갭(direct band gap)을 가지므로 효율적인 광 흡수가 일어날 수 있어 광센서, 태양전지 등의 광소자 응용에 적합하다.
- [0012] 이러한 금속 칼코게나이드 나노 박막을 제조하는 방법은 최근에 활발히 연구되어 왔다. 그러나 이와 같은 금속 칼코게나이드 박막이 위와 같은 소자로서 적용되기 위한 특성, 즉, 박막을 대면적으로 균일하게 그리고 연속적으로 합성할 수 있는 방법 등이 요구된다.
- [0013] 한편, 기존 화학기상증착법으로는 층간 스택킹 순서(stacking order) 조절이 쉽지 않고, 희생층과 멀티레이어 핵형성 씨드(nucleation seed)와의 상호작용으로 인하여 적층 구조가 무작위로 형성된다는 단점이 있다. 즉, 3층 이상의 멀티레이어의 이차원 물질을 대면적으로 형성하기는 곤란하다.
- [0014] 이에 멀티레이어의 이차원 물질 중 멀티레이어 그래핀을 제조하기 위하여, 모노레이어의 그래핀을 제조한 후 각각의 모노레이어 그래핀을 적층하여 멀티레이어의 그래핀을 제조하는 방법이 알려져 있다(미국공개특허 2012-0225296). 그러나 이 방법은 모노레이어의 그래핀을 임의로 쌓아 올림으로써 층간이 오염될 염려가 있고, 적층

구조가 무작위로 형성되는 단점이 있다.

[0015] 또한, 희생층의 일부를 제거하여 그래핀을 제조하는 방법이 알려져 있다(대한민국공개특허 2015-0089840). 그러나 이 방법은 최초에 우연하게 형성된 성장층의 수에 따라 그래핀의 층수가 결정되어 그래핀의 층수를 자유롭게 조절하기에는 어려움이 있다.

[0016] 따라서, 멀티레이어의 적층 구조체를 대면적이면서도, 층수 제어하기 용이한 합성 기술 개발이 필요하다.

## 선행기술문헌

### 특허문헌

[0018] (특허문헌 0001) 미국등록특허 8,535,553(2013. 09. 17, Large-area single- and few-layer graphene on arbitrary substrates)

(특허문헌 0002) 미국공개특허 2012-0225296(2012. 09. 06, UNIFORM MULTILAYER GRAPHENE BY CHEMICAL VAPOR DEPOSITION)

(특허문헌 0003) 대한민국공개특허 2015-0089840(2015. 08. 05, 그래핀 구조체의 형성 방법)

(특허문헌 0004) 대한민국공개특허 2012-0108748(2012. 10. 05, 그래핀 제조 장치 및 제조 방법)

(특허문헌 0005) 대한민국공개특허 2012-0012271(2012. 02. 09, 그래핀의 제조 방법, 그래핀 시트 및 이를 이용한 소자)

## 발명의 내용

### 해결하려는 과제

[0019] 본 발명의 실시예는 합성 구조체의 층수를 용이하게 조절할 수 있는 레이어 제어 기반 합성 장치 및 방법을 제공하고자 한다.

[0020] 또한, 본 발명의 실시예는 반데르발스 에피 성장(van der Waals epi-growth)을 통하여 적층 구조가 조절된 멀티레이어를 합성할 수 있는 레이어 제어 기반 합성 장치 및 방법을 제공하고자 한다.

[0021] 또한, 본 발명의 실시예는 합성 구조체를 대면적이고 경제적이며 대량으로 생산할 수 있는 레이어 제어 기반 합성 장치 및 방법을 제공하고자 한다.

### 과제의 해결 수단

[0023] 본 발명의 일 실시예에 따른 레이어 제어 기반 합성 장치는 제1 물질의 모노레이어(monolayer)가 합성되는 제1 히팅존; 및 상기 제1 히팅존과 구분되고, 활성화된(activated) 제2 물질 의소스 가스를 상기 제1 히팅존으로 공급하는 제2 히팅존을 포함하고, 상기 활성화된 제2 물질의 소스 가스는 상기 제1 물질의 모노레이어 상에 핵형성(nucleation)되어 합성 구조체가 형성되는 것을 특징으로 한다.

[0024] 본 발명의 일 실시예에 따른 레이어 제어 기반 합성 장치에 있어서, 상기 제1 물질 및 상기 제2 물질은 동일한 이차원 물질이고, 상기 합성 구조체는 호모 에피택셜 성장(homo-epitaxial growth)의 층수 제어 가능한(layer-controlled) 멀티레이어 구조를 포함할 수 있다.

[0025] 상기 멀티레이어 구조는 버널 스택(Bernal stacked) 구조를 포함할 수 있다.

[0026] 본 발명의 일 실시예에 따른 레이어 제어 기반 합성 장치에 있어서, 상기 제1 물질 및 상기 제2 물질은 동일한 이차원 물질이고, 상기 제1 히팅존보다 상대적으로 높은 온도 환경의 상기 제2 히팅존의 활성화된 이차원 물질의 소스 가스를 기반으로 제1 히팅존의 모노레이어 상에 반데르발스 에피 성장의 반복을 통하여 멀티레이어의 이차원 물질이 합성될 수 있다.

- [0027] 상기 제1 물질 및 상기 제2 물질은 그래핀이고, 700℃ 내지 900℃ 범위의 상기 제1 히팅존에서의 온도 환경과, 1,000℃ 내지 1,200℃ 범위의 상기 제2 히팅존에서의 온도 환경 하에서, 합성 시간의 제어를 통하여 상기 제1 히팅존에서 멀티레이어 그래핀이 합성될 수 있다.
- [0028] 본 발명의 일 실시예에 따른 레이어 제어 기반 합성 장치에 있어서, 상기 제1 물질 및 상기 제2 물질은 서로 상이한 이차원 물질이고, 상기 합성 구조체는 헤테로 에피택셜 성장(hetero-epitaxial growth)의 층수 제어 가능한 멀티레이어 구조를 포함할 수 있다.
- [0029] 본 발명의 일 실시예에 따른 레이어 제어 기반 합성 장치에 있어서, 상기 제1 물질은 이차원 물질이고, 상기 제2 물질은 삼차원 물질이며, 상기 합성 구조체는 층수 제어 가능한 하이브리드 구조를 포함할 수 있다.
- [0030] 본 발명의 일 실시예에 따른 레이어 제어 기반 합성 장치에 있어서, 상기 제2 히팅존은 상기 제1 히팅존으로 상기 활성화된 제2 물질의 소스 가스를 공급하는 가스 라인과, 상기 가스 라인을 특정 온도 환경으로 가열하는 가열 수단으로 형성될 수 있다.
- [0031] 본 발명의 다른 실시예에 따른 레이어 제어 기반 합성 장치는 활성화된 복수 개의 물질 소스가 순차적으로 합성되는 성장 챔버; 및 상기 활성화된 복수 개의 물질 소스를 상이한 온도 환경 하에서 상기 성장 챔버로 구분하여 공급하는 복수 개의 히팅존을 포함하고, 상기 활성화된 복수 개의 물질 소스는 상기 복수 개의 히팅존으로부터 각각 상기 성장 챔버로 순차적으로 공급되며 상기 성장 챔버에서 핵형성되어, 복수 개의 물질 기반의 합성 구조체가 형성되는 것을 특징으로 한다.
- [0032] 본 발명의 다른 실시예에 따른 레이어 제어 기반 합성 장치에 있어서, 상기 복수 개의 히팅존은 동일한 이차원 물질의 활성화된 복수 개의 물질 소스를 상기 성장 챔버로 제공하고, 상기 합성 구조체는 호모 에피택셜 성장의 층수 제어 가능한 멀티레이어 구조를 포함할 수 있다.
- [0033] 본 발명의 다른 실시예에 따른 레이어 제어 기반 합성 장치에 있어서, 상기 복수 개의 히팅존은 상이한 이차원 물질에 대한 활성화된 복수 개의 물질 소스를 각각 상기 성장 챔버로 제공하고, 상기 합성 구조체는 헤테로 에피택셜 성장의 층수 제어 가능한 멀티레이어 구조를 포함할 수 있다.
- [0034] 본 발명의 다른 실시예에 따른 레이어 제어 기반 합성 장치에 있어서, 상기 복수 개의 히팅존은 이차원 물질 및 삼차원 물질 중 선택되는 어느 하나에 대한 각각 상이한 활성화된 복수 개의 물질 소스를 상기 성장 챔버로 제공하고, 상기 합성 구조체는 층수 제어 가능한 하이브리드 구조를 포함할 수 있다.
- [0035] 본 발명의 다른 실시예에 따른 레이어 제어 기반 합성 장치에 있어서, 상기 수 개의 히팅존은 상기 성장 챔버를 중심으로 배치될 수 있다.
- [0036] 본 발명의 또 다른 실시예에 따른 레이어 제어 기반 합성 장치는 모노레이어의 물질이 합성되는 챔버를 갖는 합성 히팅존과, 상기 합성 히팅존과 구분되고 상기 물질의 활성화된 소스 가스를 상기 챔버로 공급하여 상기 모노레이어 상에 핵형성되어 합성 구조체가 형성되도록 하는 소스 히팅존을 구비하는 합성 유닛; 및 상기 합성 구조체가 형성되는 스테이지를 구비하고, 상기 스테이지가 상기 챔버 내로 인입 및 인출되도록 상기 스테이지에 회전력을 제공하는 로테이터를 포함하고, 상기 합성 유닛은 상기 로테이터를 중심으로 적어도 하나 이상이 배치되는 것을 특징으로 한다.
- [0037] 본 발명의 또 다른 실시예에 따른 레이어 제어 기반 합성 장치에 있어서, 상기 로테이터는 적어도 하나 이상의 합성 유닛의 챔버 각각에 대하여 상기 스테이지를 인입 및 인출하여 순차적으로 모노레이어가 형성되도록 제어할 수 있다.
- [0038] 본 발명의 일 실시예에 따른 레이어 제어 기반 합성 방법은 제1 히팅존에서 제1 물질의 모노레이어를 합성하는 단계; 및 상기 제1 히팅존과 구분되는 제2 히팅존으로부터 활성화된 제2 물질의 소스 가스를 상기 제1 히팅존으로 공급하여 상기 모노레이어 상에 상기 활성화된 제2 물질의 소스 가스가 핵형성되어 합성 구조체를 형성하는 단계를 포함한다.

### 발명의 효과

- [0040] 본 발명의 실시예에 따른 레이어 제어 기반 합성 장치 및 방법은 합성 구조체의 층수를 용이하게 조절 가능하다.



[0041] 또한, 본 발명의 실시예에 따른 레이어 제어 기반 합성 장치 및 방법은 반데르발스 에피 성장(van der Waals epi-growth)을 통하여 적층 구조가 조절된 멀티레이어를 합성 가능하다.

[0042] 또한, 본 발명의 실시예에 따른 레이어 제어 기반 합성 장치 및 방법은 합성 구조체를 대면적이고 경제적이며 대량으로 생산 가능하다.

### 도면의 간단한 설명

[0044] 도 1은 본 발명의 일 실시예에 따른 레이어 제어 기반 합성 장치의 구성을 도시한 것이다.

도 2는 본 발명의 일 실시예에 따른 레이어 제어 기반 합성 장치에 의하여 합성된 호모 에피텍셀 성장 멀티레이어 구조의 합성 구조체를 도시한 것이다.

도 3a 및 도 3b는 본 발명의 레이어 제어 기반 합성 장치를 통하여 합성된 버널 스택 구조의 합성 구조체를 도시한 사시도 및 평면도이다.

도 4는 본 발명의 실시예에 따른 멀티레이어 그래핀의 합성시 합성 단계별 온도 변화를 나타내는 그래프를 도시한 것이다.

도 5a 내지 도 5e는 본 발명의 일 실시예에 따른 레이어 제어 기반 합성 장치를 통하여 멀티레이어 그래핀의 합성 과정을 나타내는 개략도와, 각 단계 별 SiO<sub>2</sub>/Si 기판 상에 전사된 그래핀의 광학 현미경(OM, optical microscopy) 이미지를 함께 도시한 것이다.

도 6은 본 발명의 일 실시예에 따른 레이어 제어 기반 합성 장치에 의하여 합성된 헤테로 에피텍셀 성장 멀티레이어 구조의 합성 구조체를 도시한 것이다.

도 7은 본 발명의 일 실시예에 따른 레이어 제어 기반 합성 장치에 의하여 합성된 하이브리드 구조의 합성 구조체를 도시한 것이다.

도 8은 본 발명의 다른 실시예에 따른 레이어 제어 기반 합성 장치의 구성을 도시한 것이다.

도 9는 본 발명의 다른 실시예에 따른 레이어 제어 기반 합성 장치의 구성을 도시한 것이다.

도 10은 본 발명의 또 다른 실시예에 따른 레이어 제어 기반 합성 장치의 구성을 도시한 것이다.

도 11은 본 발명의 또 다른 실시예에 따른 레이어 제어 기반 합성 장치의 구성을 도시한 것이다.

도 12는 본 발명의 일 실시예에 따른 레이어 제어 기반 합성 방법을 설명하기 위해 도시한 흐름도이다.

도 13은 본 발명의 일 실시예에 따라 다양한 시간 조절을 통하여 합성된 1층의 모노레이어 그래핀 내지 7층의 멀티레이어 그래핀에 대한 고 해상도 투과 전자 현미경(HRTEM) 이미지를 도시한 것이다.

### 발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0045] 이하 첨부 도면들 및 첨부 도면들에 기재된 내용들을 참조하여 본 발명의 실시예를 상세하게 설명하지만, 본 발명이 실시예에 의하여 제한되거나 한정되는 것은 아니다.

[0046] 본 명세서에서 사용된 용어는 실시예들을 설명하기 위한 것이며 본 발명을 제한하고자 하는 것은 아니다. 본 명세서에서, 단수형은 문구에서 특별히 언급하지 않는 한 복수형도 포함한다.

[0047] 본 명세서에서 사용되는 "포함한다(comprises)" 및/또는 "포함하는(comprising)"은 언급된 구성요소, 단계, 동작 및/또는 소자는 하나 이상의 다른 구성요소, 단계, 동작 및/또는 소자의 존재 또는 추가를 배제하지 않는다.

[0048] 본 명세서에서 사용되는 "실시예", "예", "측", "예시" 등은 기술된 임의의 양상(aspect) 또는 설계가 다른 양상 또는 설계들보다 양호하다거나, 이점이 있는 것으로 해석되어야 하는 것은 아니다.

[0049] 또한, "또는"이라는 용어는 배타적 논리합 "exclusive or"이기보다는 포함적인 논리합 "inclusive or"를 의미한다. 즉, 달리 언급되지 않는 한 또는 문맥으로부터 명확하지 않는 한, "x가 a 또는 b를 이용한다"라는 표현은 포함적인 자연 순열들(natural inclusive permutations) 중 어느 하나를 의미한다.

[0050] 또한, 본 명세서 및 청구항들에서 사용되는 단수 표현("a" 또는 "an")은 달리 언급하지 않는 한, 또는 단수 형

태에 관한 것이라고 문맥으로부터 명확하지 않는 한, 일반적으로 "하나 이상"을 의미하는 것으로 해석되어야 한다.

- [0051] 아래 설명에서 사용되는 용어는, 연관되는 기술 분야에서 일반적이고 보편적인 것으로 선택되었으나, 기술의 발달 및/또는 변화, 관례, 기술자의 선호 등에 따라 다른 용어가 있을 수 있다. 따라서, 아래 설명에서 사용되는 용어는 기술적 사상을 한정하는 것으로 이해되어서는 안 되며, 실시예들을 설명하기 위한 예시적 용어로 이해되어야 한다.
- [0052] 또한, 특정한 경우는 출원인이 임의로 선정한 용어도 있으며, 이 경우 해당되는 설명 부분에서 상세한 그 의미를 기재할 것이다. 따라서 아래 설명에서 사용되는 용어는 단순한 용어의 명칭이 아닌 그 용어가 가지는 의미와 명세서 전반에 걸친 내용을 토대로 이해되어야 한다.
- [0053] 또한, 막, 층, 영역, 구성 등의 부분이 다른 부분 "위에" 또는 "상에" 있다고 할 때, 다른 부분의 바로 위에 있는 경우뿐만 아니라, 그 중간에 다른 막, 층, 영역, 구성 요소 등이 개재되어 있는 경우도 포함한다.
- [0054] 다른 정의가 없다면, 본 명세서에서 사용되는 모든 용어(기술 및 과학적 용어를 포함)는 본 발명이 속하는 기술 분야에서 통상의 지식을 가진 자에게 공통적으로 이해될 수 있는 의미로 사용될 수 있을 것이다. 또한, 일반적으로 사용되는 사전에 정의되어 있는 용어들은 명백하게 특별히 정의되어 있지 않는 한 이상적으로 또는 과도하게 해석되지 않는다.
- [0055] 한편, 본 발명을 설명함에 있어서, 관련된 공지 기능 또는 구성에 대한 구체적인 설명이 본 발명의 요지를 불필요하게 흐릴 수 있다고 판단되는 경우에는, 그 상세한 설명을 생략할 것이다.
- [0056] 본 명세서에서 사용되는 용어(terminology)들은 본 발명의 실시예를 적절히 표현하기 위해 사용된 용어들로서, 이는 사용자, 운용자의 의도 또는 본 발명이 속하는 분야의 관례 등에 따라 달라질 수 있다. 따라서, 본 용어들에 대한 정의는 본 명세서 전반에 걸친 내용을 토대로 내려져야 할 것이다.
- [0057] 이하, 도면을 참조하여 본 발명의 실시예들에 따른 레이어 제어 기반 합성 장치에 대하여 상세히 설명하기로 한다.
- [0059] 도 1은 본 발명의 일 실시예에 따른 레이어 제어 기반 합성 장치의 구성요소를 도시한 것이다.
- [0060] 본 발명의 일 실시예에 따른 레이어 제어 기반 합성 장치(100)는 물질의 합성(성장)이 이루어지는 제1 히팅존(heating zone, 110)과, 합성 물질의 소스 가스가 활성화되는 제2 히팅존(120)으로 분리된 멀티 히팅존을 포함한다.
- [0061] 본 발명의 일 실시예에 따른 레이어 제어 기반 합성 장치(100)는 멀티 히팅존을 포함하는 화학기상증착(CVD) 기반 장치일 수 있고, 구체적으로는, 저압화학기상증착(LPCVD, low pressure CVD) 장치일 수 있다.
- [0062] 본 발명의 일 실시예에 따른 레이어 제어 기반 합성 장치(100)에 있어서, 물질의 합성이 이루어지는 제1 히팅존(110)은 합성 물질의 소스 가스가 활성화되는 제2 히팅존(120)에 비하여 상대적으로 저온 환경을 가질 수 있다.
- [0063] 도 1을 참조하면, 본 발명의 일 실시예에 따른 레이어 제어 기반 합성 장치(100)는 제1 히팅존(110) 및 제1 히팅존(110)과 구분된 제2 히팅존(120)을 포함한다.
- [0064] 제1 히팅존(110)은 제1 물질의 모노레이어(monolayer)가 합성되는 히팅존이고, 제2 히팅존(120)은 제1 히팅존(110)과 구분되고 활성화된 제2 물질의 소스 가스를 제1 히팅존(110)으로 공급한다. 이 경우, 활성화된 제2 물질의 소스 가스는 제1 물질의 모노레이어 상에 핵형성되어 합성 구조가 형성된다.
- [0065] 또한, 제1 히팅존(110)은 합성 공정이 진행되는 제1 챔버(111)와, 제1 챔버(111) 내에 물질의 합성(성장)을 위한 스테이지(112)를 포함할 수 있다.
- [0066] 제1 히팅존(110)은 제1 챔버(111)의 일 측에 제1 히팅존(110)을 제1 온도 환경으로 히팅(가열)하기 위한 제1 히팅 수단(미도시)을 구비한다. 상기 제1 히팅 수단은 제1 히팅존(110)을 제1 온도 환경으로 히팅하기 위한 것이라면 한정되지 않고 어느 것이든 사용할 수 있다.
- [0067] 제2 히팅존(120)은 제1 히팅존(110)과 구분되고, 활성화된 제2 물질의 소스 가스가 활성화되는 제2 챔버(121)와, 제2 챔버(121) 내로 제2 물질의 활성화된 소스 가스를 공급하기 위한 가스 라인(122)을 포함할 수

있다.

- [0068] 본 발명의 일 실시예에 따른 레이저 제어 기반 합성 장치(100)의 제1 히팅존(110)은 물질의 합성이 이루어지는 히팅존이고, 제2 히팅존(120)은 합성 물질의 소스 가스가 활성화되는 히팅존일 수 있다.
- [0069] 또한, 제2 히팅존(120)의 제2 온도 환경은 제1 히팅존(110)의 제1 온도 환경에 비하여 상대적으로 고온 환경을 가질 수 있다.
- [0070] 이를 위해, 제2 히팅존(120)은 제2 챔버(121)의 일 측에 제2 히팅존(120)을 제2 온도 환경으로 히팅하기 위한 제2 히팅 수단(미도시)을 구비할 수 있다. 상기 제2 히팅 수단은 제2 히팅존(120)을 제2 온도 환경으로 히팅하기 위한 것이라면 한정되지 않고 사용할 수 있다.
- [0071] 여기서, 제2 온도 환경은 제1 온도 환경과는 상이한 온도 범위를 갖는 환경을 의미한다.
- [0072] 본 발명의 일 실시예에 따른 레이저 제어 기반 합성 장치(100)의 제2 히팅존(120)은 가스 라인(122)을 통하여 제2 챔버(121) 내로 공급된 제2 물질의 소스 가스를 상기 제2 히팅 수단을 이용하여 고온으로 가열하여 활성화시키고, 활성화된 제2 물질의 소스 가스를 제1 히팅존(110)으로 공급할 수 있다.
- [0073] 또한, 본 발명의 일 실시예에 따른 레이저 제어 기반 합성 장치(100)에 있어서, 상기 활성화된 제2 물질의 소스 가스는 제1 히팅존(110)에 위치한 상기 제1 물질의 모노레이어 상에 핵형성되어 합성 구조체가 형성된다.
- [0074] 구체적으로, 제2 히팅존(120)에서 활성화된 제2 물질의 소스 가스는 제1 히팅존(110)으로 공급되어, 제1 히팅존(110)에 위치한 스테이지(112) 상에 합성된 제1 물질의 모노레이어 상에서 핵형성되어 합성 구조체를 형성할 수 있다.
- [0075] 상기 제2 물질은 상기 제1 물질과 동일하거나 상이한 이차원(Two Dimensions, 2D) 물질일 수 있고, 삼차원(Three Dimensions, 3D) 물질일 수 있다.
- [0076] 스테이지(112)는 물질의 합성시키기 위한 베이스 기재로서, 그 소재는 한정되지 않으나, 예를 들어, 규소(Si), 글래스, GaN 또는 실리카 등의 무기물이나, 니켈(Ni), 코발트(Co), 철(Fe), 백금(Pt), 금(Au), 알루미늄(Al), 크롬(Cr), 구리(Cu), 마그네슘(Mg), 망간(Mn), 로듐(Rh), 실리콘(Si), 탄탈럼(Ta), 티타늄(Ti), 텅스텐(W), 우라늄(U), 바나듐(V) 또는 지르코늄(Zr) 등으로 이루어진 금속박막을 사용할 수 있다.
- [0077] 예를 들어, 스테이지(112)는 그래핀을 합성하는 경우, 구리 포일(Cu foil)과 같은 금속 촉매일 수 있다.
- [0078] 제1 히팅존(110)에서는 제1 물질의 모노레이어(monolayer)가 합성되고, 제1 물질의 모노레이어는 스테이지(112) 상에서 합성된다. 상기 모노레이어(단분자층)는 분자가 한 줄로 늘어선 층, 즉 그 두께가 분자 1개의 크기에 해당하는 얇은 층을 의미한다.
- [0079] 또한, 전술한 이차원 물질은 그래핀계 물질, 금속 디칼코게나이드(metal dichalcogenides), 금속 산화물 또는 금속 수산화물 중 어느 하나일 수 있다.
- [0080] 그래핀계 물질은 그래핀(graphene), 육방정계 질화붕소(hexagonal boron nitride, h-BN), 육방정계 질화붕소-탄소(hexagonal boron-nitrogen-carbon, h-BNC), 불소가 첨가된 그래핀 또는 산화 그래핀(graphene oxide, GO) 중 어느 하나 일 수 있다.
- [0081] 또한, 금속 디칼코게나이드는 텅스텐(W), 몰리브덴(Mo) 또는 하프늄(Hf) 등의 금속과, 황(S), 셀레늄(Se) 또는 텔루륨(Te) 등의 화합물인 금속 디칼코게나이드일 수 있다.
- [0082] 예를 들어, 금속 디칼코게나이드는  $WS_2$ ,  $MoS_2$ ,  $HfS_2$ ,  $ZrS_2$ ,  $NbS_2$ ,  $WSe_2$ ,  $MoSe_2$ ,  $HfSe_2$ ,  $ZrSe_2$ ,  $NbSe_2$ ,  $WTe_2$ ,  $MoTe_2$ ,  $HfTe_2$ ,  $ZrTe_2$  또는  $NbTe_2$  일 수 있다.
- [0083] 금속 디칼코게나이드를 합성하기 위한 전이금속 소스 가스는 Ti, Hf, Zr, V, Nb, Ta, Mo, W, Tc, Re, Co, Rh, Ir, Ni, Pd, Pt, Zn 및 Sn으로 이루어진 그룹으로부터 선택되는 어느 하나의 전이금속 소스를 포함할 수 있고, 금속 디칼코게나이드를 합성하기 위한 칼코젠 소스 가스는 S, Se 및 Te으로 이루어진 그룹으로부터 선택된 어느 하나의 칼코젠 소스를 포함할 수 있다.
- [0084] 또한, 금속 산화물은  $MoO_3$ ,  $WO_3$ ,  $TiO_2$ ,  $MnO_2$ ,  $V_2O_5$ ,  $TaO_3$ ,  $RuO_2$ ,  $LaNb_2O_7$ ,  $Ca_2Nb_3O_{10}$ ,  $SrNb_3O_{10}$ ,  $Bi_4Ti_3O_{12}$  및  $Ca_2Ta_2TiO_{10}$  중 어느 하나일 수 있다.

- [0085] 또한, 금속 수산화물은  $\text{Ni}(\text{OH})_2$  및  $\text{Eu}(\text{OH})_2$  중 어느 하나 일 수 있다.
- [0086] 상기 삼차원 물질은 Cu, Au, Ag, Pt과 같은 도체(conductors) 물질이나, ITO와 같은 투명 전극이나, IZO와 같은 산화물 반도체로서, CVD로 합성 가능한 모든 물질일 수 있으나, 전술한 물질에 한정되지 않고, 이차원 물질이 아닌 상기 이차원 물질과 헤테로 구조(heterostructure)로 합성 가능한 물질이면 제한 없이 사용 가능하다.
- [0087] 본 발명의 일 실시예에 따른 레이어 제어 기반 합성 장치(100)에 의하여 합성된 합성 구조체는 제1 물질 및 제2 물질이 동일한 이차원 물질인 경우, 호모 에피택셜 성장(homo-epitaxial growth)의 층수 제어 가능한(layer-controlled) 멀티레이어 구조를 포함할 수 있다.
- [0088] 실시예에 따라서는, 상기 멀티레이어 구조는 버널 스택(Bernal stacked) 구조를 포함할 수 있다.
- [0089] 또한, 본 발명의 일 실시예에 따른 레이어 제어 기반 합성 장치(100)에 의하여 합성된 합성 구조체는 제1 물질 및 제2 물질이 서로 상이한 이차원 물질인 경우, 헤테로 에피택셜 성장(hetero-epitaxial growth)의 층수 제어 가능한 멀티레이어 구조를 포함할 수 있다.
- [0091] 도 2는 본 발명의 일 실시예에 따른 레이어 제어 기반 합성 장치에 의하여 합성된 호모 에피택셜 성장 멀티레이어 구조의 합성 구조체를 도시한 것이다.
- [0092] 도 2를 참조하면, 레이어 제어 기반 합성 장치에 의하여 합성된 합성 구조체(1301)는 이차원 물질인 제1 물질의 모노레이어(1311)와, 상기 제1 물질과 동일한 이차원 물질인 제2 물질의 레이어(1321, 1331)를 포함한다.
- [0093] 제2 물질의 레이어는 2층의 레이어(1321, 1331)로 도시되었으나, 그 층수는 한정되지 않는다. 구체적으로, 제2 물질의 레이어는 적어도 하나 이상일 수 있다.
- [0094] 레이어 제어 기반 합성 장치에 의하여 합성된 합성 구조체(1301)에 있어서, 제1 물질의 모노레이어(1311) 및 제2 물질의 레이어(1321, 1331)는 동일한 이차원 물질로 이루어지기 때문에, 합성 구조체(1301)는 동일한 물질층에서 성장이 이루어지는 호모 에피택셜 성장된 멀티레이어 구조(1301)를 포함할 수 있다.
- [0096] 도 3a 및 도 3b는 본 발명의 레이어 제어 기반 합성 장치를 통하여 합성된 버널 스택 구조의 합성 구조체를 도시한 사시도 및 평면도이다.
- [0097] 도 3a 및 도 3b를 참조하면, 본 발명의 레이어 제어 기반 합성 장치를 통하여 합성된 합성 구조체의 멀티레이어 구조(1301)는 버널 스택(Bernal stacked) 구조를 포함할 수 있다.
- [0098] 도 3a 및 도 3b에 도시된 바와 같이, 버널 스택 구조는 완전히 겹쳐진 제1 물질의 모노레이어(1311-A)와 제2 물질의 제2 레이어(1331-A) 사이에 제2 물질의 제1 레이어(1321-B)가 위치하는 구조를 포함한다.
- [0099] 본 발명의 레이어 제어 기반 합성 장치를 통하여 합성된 합성 구조체(1301)에 있어서, 제1 물질 및 제2 물질이 동일한 이차원 물질일 경우, 제1 히팅존(110)보다 상대적으로 높은 온도 환경의 제2 히팅존(120)의 활성화된 이차원 물질의 소스 가스를 기반으로 제1 히팅존(110)의 모노레이어(112) 상에 반테르발스 에피 성장의 반복을 통하여 멀티레이어의 이차원 물질이 합성될 수 있다.
- [0100] 이하에서는 전술한 바 있는 본 발명의 일 실시예에 따른 레이어 제어 기반 합성 장치에 의하여 합성되는 합성 구조체의 제1 물질 및 제2 물질이 그래핀인 경우를 실시예로 하여 설명하기로 한다.
- [0102] 도 4는 본 발명의 실시예에 따른 멀티레이어 그래핀의 합성시 합성 단계별 온도 변화를 나타내는 그래프를 도시한 것이다.
- [0103] 본 발명의 일 실시예에 따른 레이어 제어 기반 합성 장치(100)를 이용한 본 발명의 일 측면에 따른 멀티레이어 그래핀은 제1 히팅존에 배치된 스테이지 상에 모노레이어 그래핀을 합성한 이후, 제1 히팅존 및 제2 히팅존에서의 합성 시간의 조절(제어)을 통하여 모노레이어 그래핀 상에 반테르발스 에피 성장의 그래핀을 합성할 수 있다.
- [0104] 도 4를 참조하면, 단계 S1에서는 제1 히팅존의 온도(T1)를 상승시킴에 따라 제1 히팅존 내에 배치된 스테이지

상에 모노레이어 그래핀이 합성된다.

- [0105] 그 후, 단계 S2에서는 제1 히팅존의 온도(T21) 및 제2 히팅존의 온도(T22)가 단계 S1에서의 제1 히팅존의 온도(T1)에 비하여 상대적으로 각각 낮거나 높게 조절된다.
- [0106] 구체적으로는, 단계 S2에서 제1 히팅존의 온도(T21)는 제2 히팅존의 온도(T22)에 비하여 상대적으로 낮게 제어된다.
- [0107] 실시예에 따라서는 단계 S1에서의 제2 히팅존의 온도는 제1 히팅존의 온도(T1)와 같거나 다를 수 있다.
- [0108] 일례로, 단계 S1에서의 제1 히팅존의 온도(T1)가 900℃ 내지 1,100℃ 범위라면, 단계 S2에서의 제1 히팅존의 온도(T21)는 단계 S1에서의 제1 히팅존의 온도(T1)보다 낮은 700℃ 내지 900℃ 범위일 수 있고, 단계 S2에서의 제2 히팅존의 온도(T22)는 단계 S1에서의 제1 히팅존의 온도(T1)보다 높은 1,000℃ 내지 1,200℃ 범위일 수 있다.
- [0109] 본 발명의 일 측면에 따른 멀티레이어 그래핀(1301)은 제 700℃ 내지 900℃ 범위의 제1 히팅존의 온도(T21) 환경과, 1,000℃ 내지 1,200℃ 범위의 제2 히팅존의 온도(T22) 환경 하에서, 합성 시간의 제어를 통하여 합성될 수 있다.
- [0110] 구체적으로, 본 발명의 일 측면에 따른 멀티레이어 그래핀은 도 1을 함께 참조하여 후술하는 것과 같이 합성될 수 있다.
- [0111] 단계 S2에 있어서, 그래핀의 합성을 위한 탄소 소스 가스는 도 1에 도시된 바와 같이 제2 히팅존의 일 측에 구비된 가스 라인으로부터 제2 히팅존으로 공급될 수 있다.
- [0112] 제2 히팅존으로 공급된 탄소 소스 가스는 상대적으로 높은 제2 히팅존의 온도(T22) 환경으로 인하여 활성화되며, 상기 활성화된 탄소 소스 가스는 제2 히팅존으로부터 상기 제2 히팅존보다 상대적으로 낮은 온도(T21)를 가지는 제1 히팅존으로 이동하여, 제1 히팅존 상에 구비된 기 합성된 모노레이어 그래핀 상에 반데르발스 에피 성장을 일으켜 반데르발스 에피 성장 기반의 그래핀이 합성될 수 있다.
- [0113] 또한, 본 발명의 일 실시예에 따른 레이어 제어 기반 합성 장치를 통하여 단계 S2에서 반데르발스 에피 성장의 그래핀의 합성을 반복하여 멀티레이어 그래핀을 합성할 수도 있다.
- [0114] 구체적으로, 반데르발스 에피 성장의 그래핀 합성의 반복은 다른 변수 없이 오직 그래핀의 합성(성장) 시간의 조절을 통하여 반데르발스 에피 성장의 그래핀(1321)의 합성을 반복함으로써 멀티레이어 그래핀(1301)을 합성할 수 있다.
- [0115] 다시 말하여, 본 발명의 일 실시예에 따른 레이어 제어 기반 합성 장치를 통한 합성 시간을 증가시켜 합성되는 멀티레이어 그래핀의 층수도 증가시킬 수 있다.
- [0116] 상기 탄소 소스 가스는 그래핀을 합성시키기 위한 탄소 소스를 포함하는 반응 가스를 의미하고, 상기 탄소 소스는 탄소를 함유하는 탄소 함유 화합물로서, 그 종류는 한정되지 않는다.
- [0117] 상기 탄소 소스 가스는 예를 들어, 탄소수 1 내지 10를 가지는 탄소 함유 화합물일 수 있고, 바람직하게는 탄소수 1 내지 5를 가지는 탄소 함유 화합물일 수 있다. 일례로, 탄소 소스로서 탄소수 1의 메탄( $\text{CH}_4$ ) 및 수소( $\text{H}_2$ )를 포함하는 탄소 소스를 포함하는 반응 가스를 이용할 수 있다.
- [0118] 또한, 단계 S1 및 단계 S2 사이에는 제1 히팅존 및 제2 히팅존의 온도 환경을 조절하기 위한 온도 환경 재조정(reseting) 단계( $S_{\text{reset}}$ )를 더 포함할 수 있다.
- [0119] 예를 들어, 단계 S1에서 약 80분 간의 소정 시간 동안 모노레이어 그래핀을 합성하고, 제1 및 제2 히팅존의 온도 조절 조건을 리셋한(reseting) 후, 단계 S2에서 그래핀의 합성 시간을 조절하여 멀티레이어 그래핀을 합성할 수 있다.
- [0121] 도 5a 내지 도 5e는 본 발명의 일 실시예에 따른 레이어 제어 기반 합성 장치를 통하여 멀티레이어 그래핀의 합성 과정을 나타내는 개략도와, 각 단계별  $\text{SiO}_2/\text{Si}$  기판 상에 전사된 그래핀의 광학 현미경(OM, optical microscopy) 이미지를 함께 도시한 것이다.
- [0122] 도 5a 내지 도 5e에서 반점 A 및 A'는 모노레이어(monolayer) 그래핀을 나타내고, 반점 B, B' 및 B''는 바이레



이어(bilayer) 그래핀을 나타내며, 반점 C 및 C'는 트리레이어(trilayer) 그래핀을 나타낸다.

- [0123] 도 5a는 도 4의 단계 S1에서, 구리 호일 상에 10분 간 합성된 모노레이어 그래핀의 개략도와,  $\text{SiO}_2/\text{Si}$  기판 상에 전사된 모노레이어 그래핀의 광학 현미경 이미지를 도시한 것으로서, 도 5a를 참조하면, 모노레이어 그래핀이 구리 호일 상에 균일하게 단층으로 합성되는 것을 관찰할 수 있다.
- [0124] 도 5b 내지 도 5e는 도 4의 단계 S2에서, 단계 S1에서 합성된 모노레이어 그래핀 상에 각각 20분, 70분, 90분 및 130분 간 합성된 반데르발스 에피 성장의 그래핀의 개략도와,  $\text{SiO}_2/\text{Si}$  기판 상에 전사된 반데르발스 에피 성장의 그래핀의 광학 현미경 이미지를 도시한 것이다.
- [0125] 도 5b를 참조하면, 반데르발스 에피 성장의 그래핀은 모노레이어 그래핀 상에 섬 형태로 부분적으로 합성되는 것을 관찰할 수 있고, 도 5c를 참조하면, 반데르발스 에피 성장의 그래핀은 모노레이어 그래핀 상에 섬 형태로 부분적으로 합성되던 반데르발스 에피 성장의 그래핀이 모노레이어 그래핀을 모두 덮도록 합성되는 것을 관찰할 수 있다.
- [0126] 또한, 도 5d 및 도 5e를 참조하면, 반데르발스 에피 성장의 그래핀은 도 5b 및 도 5c에서와 마찬가지로, 도 5d에 도시된 바와 같이 이전에 합성된 반데르발스 에피 성장의 그래핀 상에 섬 형태로 부분적으로 합성된 후, 도 5e에 도시된 바와 같이 이전에 합성된 반데르발스 에피 성장의 그래핀 상에 섬 형태로 부분적으로 합성되던 반데르발스 에피 성장의 그래핀이 이전에 합성된 반데르발스 에피 성장의 그래핀을 모두 덮도록 합성되는 것을 관찰할 수 있다.
- [0127] 본 발명의 일 실시예에 따른 레이어 제어 기반 합성 장치를 통하여 합성 시간의 제어를 통하여 반데르발스 에피 성장의 그래핀을 반복적으로 레이어 바이 레이어(layer-by-layer) 형태로 합성할 수 있고, 합성 시간을 조절하여 반데르발스 에피 성장의 그래핀의 층수를 조절할 수 있다.
- [0129] 도 6은 본 발명의 일 실시예에 따른 레이어 제어 기반 합성 장치에 의하여 합성된 헤테로 에피택셜 성장 멀티레이어 구조의 합성 구조체를 도시한 것이다.
- [0130] 본 발명의 일 실시예에 따른 레이어 제어 기반 합성 장치에 있어서 제1 물질 및 제2 물질이 서로 상이한 이차원 물질인 경우에는, 본 발명의 일 실시예에 따른 레이어 제어 기반 합성 장치를 통하여 합성되는 합성 구조체는 헤테로 에피택셜 성장(hetero-epitaxial growth)의 층수 제어가 가능한 멀티레이어 구조를 포함할 수 있다.
- [0131] 도 6을 참조하면, 본 발명의 일 실시예에 따른 레이어 제어 기반 합성 장치를 통하여 합성되는 합성 구조체는 스테이지(112) 상에 이차원 물질인 제1 물질의 모노레이어(1312)와, 제1 물질과 상이한 제2 물질의 레이어(1322, 1332)를 포함할 수 있다.
- [0132] 예를 들어, 상기 제1 물질이 이차원 물질인 그래핀인 경우, 상기 제2 물질은 그래핀과 상이한 이차원 물질인 h-BN일 수 있다.
- [0133] 도 6에 도시된 제2 물질의 레이어는 2층의 레이어(1322, 1332)로 도시되었으나, 그 층수는 한정되지 않는다. 구체적으로, 제2 물질의 레이어는 적어도 하나 이상일 수 있다.
- [0134] 본 발명의 일 실시예에 따른 레이어 제어 기반 합성 장치를 통하여 합성되는 합성 구조체(1302)는 제1 물질의 모노레이어(1312) 및 제2 물질의 레이어(1322, 1332)는 서로 상이한 이차원 물질로 이루어지고, 서로 상이한 물질층에서 성장이 이루어지는 헤테로 에피택셜 성장된 멀티레이어 구조(1302)를 포함할 수 있다.
- [0135] 또한, 헤테로 에피택셜 성장된 멀티레이어 구조(1302)는 전술한 바와 같이 버널 스택 구조를 포함할 수 있다.
- [0137] 도 7은 본 발명의 일 실시예에 따른 레이어 제어 기반 합성 장치에 의하여 합성된 하이브리드 구조의 합성 구조체를 도시한 것이다.
- [0138] 본 발명의 일 실시예에 따른 레이어 제어 기반 합성 장치에 있어서, 제1 물질은 이차원 물질이고, 제2 물질이 삼차원 물질인 경우, 이차원 물질의 층수 제어와, 삼차원 물질의 두께 제어를 통하여 본 발명의 일 실시예에 따른 레이어 제어 기반 합성 장치를 통하여 합성되는 합성 구조체는 층수 제어 가능한 하이브리드 구조를 포함할 수 있다.

- [0139] 또한, 하이브리드 구조(1303)는 버널 스택 구조를 포함할 수 있다.
- [0140] 도 7을 참조하면, 본 발명의 일 실시예에 따른 레이어 제어 기반 합성 장치를 통하여 합성되는 합성 구조체는 스테이지(112) 상에 이차원 물질인 제1 물질의 모노레이어(1313)와, 삼차원 물질인 제2 물질의 레이어(1323, 1333)를 포함한다.
- [0141] 일례로, 상기 제1 물질이 그래핀과 같은 이차원 물질인 경우, 상기 제2 물질은 삼차원 물질일 수 있다.
- [0142] 상기 삼차원 물질은 Cu, Au, Ag, Pt과 같은 도체(conductors) 물질이나, ITO와 같은 투명 전극이나, IZO와 같은 산화물 반도체로서, CVD로 합성 가능한 모든 물질일 수 있으나, 전술한 물질에 한정되지 않고, 이차원 물질이 아닌 상기 이차원 물질과 헤테로 구조(heterostructure)로 합성 가능한 물질이면 제한 없이 사용 가능하다.
- [0143] 도 7에 도시된 제2 물질의 레이어는 2층의 레이어(1323, 1333)로 도시되었으나, 그 층수는 한정되지 않는다. 구체적으로, 제2 물질의 레이어는 적어도 하나 이상일 수 있다.
- [0144] 이하에서는 도 8을 참조하여 본 발명의 다른 실시예에 따른 레이어 제어 기반 합성 장치를 설명하기로 한다.
- [0146] 도 8은 본 발명의 다른 실시예에 따른 레이어 제어 기반 합성 장치의 구성을 도시한 것이다.
- [0147] 본 발명의 다른 실시예에 따른 레이어 제어 기반 합성 장치(100')의 구성요소는 전술한 본 발명의 레이어 제어 기반 합성 장치와 동일한 기술적 구성요소를 포함할 수 있고, 중복되는 구성요소에 대해서는 중복 기재를 생략하기로 한다.
- [0148] 본 발명의 다른 실시예에 따른 레이어 제어 기반 합성 장치(100')는 물질의 합성(성장)이 이루어지는 제1 히팅 존(110)과, 합성 물질의 소스 가스가 활성화되는 제2 히팅존(120')으로 분리된 멀티 히팅존을 포함한다.
- [0149] 제1 히팅존(110)은 제1 물질의 모노레이어가 합성되는 히팅존이고, 제2 히팅존(120')은 제1 히팅존(110)과 구분되고 활성화된 제2 물질의 소스 가스를 제1 히팅존(110)으로 공급한다. 이 경우 활성화된 제2 물질의 소스 가스는 제1 물질의 모노레이어 상에 핵형성되어 합성 구조가 형성된다.
- [0150] 또한, 제1 히팅존(110)은 합성 공정이 진행되는 제1 챔버(111)와, 제1 챔버(111) 내에 물질의 합성(성장)을 위한 스테이지(112)를 포함할 수 있다.
- [0151] 제1 히팅존(110)은 제1 챔버(111)의 일 측에 제1 히팅존(110)을 제1 온도 환경으로 히팅(가열)하기 위한 제1 히팅 수단(미도시)을 구비한다. 상기 제1 히팅 수단은 제1 히팅존(110)을 제1 온도 환경으로 히팅하기 위한 것이라면 한정되지 않고 어느 것이든 사용할 수 있다.
- [0152] 도 8에 도시된 바와 같이, 제2 히팅존(120')은 제1 히팅존(110)으로 활성화된 제2 물질의 소스 가스를 공급하는 가스 라인(122')과, 가스 라인(122')을 특정 온도 환경으로 가열하는 가열 수단(제2 히팅 수단)(123')을 포함할 수 있다.
- [0153] 가스 라인(122')은 제2 히팅존(120')의 제2 물질의 소스 가스를 공급받고, 공급받는 제2 물질의 소스 가스를 제1 히팅존(110)으로 공급할 수 있다.
- [0154] 제2 히팅 수단(123')은 가스 라인(122') 내부로 공급되는 제2 물질의 소스 가스를 특정 온도 환경으로 가열함으로써 제2 물질의 소스 가스를 활성화시킬 수 있다. 즉, 제2 히팅 수단(123')에 의하여 활성화된 제2 물질의 소스 가스는 가스 라인(122')을 통하여 제1 히팅존(110)으로 공급될 수 있다.
- [0155] 도 8에서는 가스 라인(122')의 주위에서 가스 라인(122')을 감싸도록 하는 제2 히팅 수단(123')을 도시하였으나, 제2 히팅존(120')을 제2 온도의 특정 온도 환경으로 히팅(가열)하기 위한 것이라면 그 구조에 한정되지 않고 사용할 수 있다.
- [0156] 이하에서는 도 9를 참조하여 본 발명의 또 다른 실시예에 따른 레이어 제어 기반 합성 장치를 설명하기로 한다.
- [0158] 도 9는 본 발명의 또 다른 실시예에 따른 레이어 제어 기반 합성 장치의 구성을 도시한 것이다.
- [0159] 본 발명의 또 다른 실시예에 따른 레이어 제어 기반 합성 장치(200)의 구성요소는 전술한 본 발명의 레이어 제어 기반 합성 장치와 동일한 기술적 구성요소를 포함할 수 있고, 중복되는 구성요소에 대해서는 중복 기재를 생

략하기로 한다.

- [0160] 도 9를 참조하면, 본 발명의 또 다른 실시예에 따른 레이어 제어 기반 합성 장치(200)는 활성화된 물질 소스가 복수 개의 순차적으로 합성되는 성장 챔버(210) 및 상기 활성화된 복수 개의 물질 소스를 상이한 온도 환경 하에서 성장 챔버(210)로 구분하여 공급하는 복수 개의 히팅존(221, 222, 223, 224, 이하 220이라고 함)을 포함한다.
- [0161] 본 발명의 또 다른 실시예에 따른 레이어 제어 기반 합성 장치(200)를 통하여 상기 활성화된 복수 개의 물질 소스는 복수 개의 히팅존(220)으로부터 각각 성장 챔버(210)로 순차적으로 공급되며 성장 챔버(210)에서 핵형성되어, 복수 개의 물질 기반의 합성 구조체가 형성될 수 있다.
- [0162] 성장 챔버(210)는 복수 개의 히팅존(220)으로부터 활성화된 복수 개의 물질 소스를 순차적으로 공급받아, 성장 챔버(210) 내에서 복수 개의 물질 기반의 합성 구조체가 형성되게 된다.
- [0163] 복수 개의 히팅존(220)은 성장 챔버(210)를 중심으로 하여, 성장 챔버(210)의 주변에 배치될 수 있다.
- [0164] 복수 개의 히팅존(220)은 도 9를 통하여 4개의 히팅존(221, 222, 223, 224)으로 예시하였으나, 그 수는 한정되지 않으며, 활성화시키기 위한 복수 개의 물질 소스의 수에 따라 동일하게 적용될 수 있다.
- [0165] 복수 개의 히팅존(220)은 성장 챔버(210)로의 활성화된 복수 개의 물질 소스를 공급하기 위하여 복수 개의 히팅존(220) 내에서 상기 복수 개의 물질 소스를 각각 활성화시킨다.
- [0166] 실시예에 따라 상기 복수 개의 물질 소스를 활성화시키기 위하여, 복수 개의 히팅존(220)의 일 측에 히팅 수단(미도시)이 구비될 수 있고, 복수 개의 히팅존(220)으로 소스 개의 물질 소스를 공급 받기 위하여, 복수 개의 히팅존(220)의 일 측에 소스 라인(미도시)이 각각 구비될 수 있다.
- [0167] 복수 개의 히팅존(220)에서 활성화된 복수 개의 물질 소스는 복수 개의 히팅존(220)으로부터 각각 성장 챔버(210)로 순차적으로 공급되고, 성장 챔버(210)로 공급된 활성화된 복수 개의 물질 소스는 성장 챔버(210) 내에서 핵형성되어 복수 개의 물질 기반의 합성 구조체를 형성한다.
- [0168] 본 발명의 또 다른 실시예에 따른 레이어 제어 기반 합성 장치(200)를 통하여, 복수 개의 물질 소스는 각각 복수 개의 히팅존(220)에서 활성화된 후 성장 챔버(210)로 공급되어, 성장 챔버(210) 내에서 복수 개의 물질 기반의 합성 구조체가 형성될 수 있다.
- [0169] 복수 개의 물질 소스는 서로 동일한 물질이거나, 서로 상이한 물질일 수 있다. 즉, 복수 개의 히팅존(220)에 의하여 활성화된 복수 개의 물질 소스는 서로 동일한 물질이거나, 서로 상이한 물질일 수 있다. 상기 복수 개의 물질 소스는 이차원 물질일 수 있다.
- [0170] 본 발명의 또 다른 실시예에 따른 레이어 제어 기반 합성 장치(200)에 있어서, 복수 개의 물질 소스가 서로 동일한 물질일 경우, 복수 개의 히팅존(220)은 서로 동일한 이차원 물질의 활성화된 복수 개의 물질 소스를 성장 챔버(210)로 제공할 수 있다.
- [0171] 이 경우, 본 발명의 또 다른 실시예에 따른 레이어 제어 기반 합성 장치(200)의 성장 챔버(210) 내에서 핵형성되어 합성된 복수 개의 물질 소스 기반의 합성 구조체는 호모 에피텍셜 성장의 층수 제어 가능한 멀티레이어 구조를 포함할 수 있다.
- [0172] 한편, 본 발명의 또 다른 실시예에 따른 레이어 제어 기반 합성 장치(200)에 있어서, 복수 개의 물질 소스가 서로 상이한 물질일 경우, 복수 개의 히팅존(220)은 서로 상이한 이차원 물질의 활성화된 복수 개의 물질 소스를 성장 챔버(210)로 제공할 수 있다.
- [0173] 이 경우, 본 발명의 또 다른 실시예에 따른 레이어 제어 기반 합성 장치(200)의 성장 챔버(210) 내에서 핵형성되어 합성된 복수 개의 물질 소스 기반의 합성 구조체는 헤테로 에피텍셜 성장의 층수 제어 가능한 멀티레이어 구조를 포함할 수 있다.
- [0174] 실시예에 따라 상기 복수 개의 물질 소스는 삼차원 물질일 수 있다.
- [0175] 본 발명의 또 다른 실시예에 따른 레이어 제어 기반 합성 장치(200)에 있어서, 복수 개의 물질 소스가 이차원 물질 및 삼차원 물질 중 선택되는 어느 하나에 대한 각각 상이한 물질일 경우, 복수 개의 히팅존(220)은 이차원 물질 및 삼차원 물질 중 선택되는 어느 하나에 대한 각각 상이한 활성화된 복수 개의 물질 소스를 성장 챔버(210)로 제공할 수 있다.



- [0176] 이 경우, 본 발명의 또 다른 실시예에 따른 레이어 제어 기반 합성 장치(200)의 성장 챔버(210) 내에서 핵형성되어 합성된 복수 개의 물질 소스 기반의 합성 구조체는 층수 및 두께가 제어 가능한 하이브리드 구조를 포함할 수 있다.
- [0177] 이하에서는 도 10을 참조하여 본 발명의 또 다른 실시예에 따른 레이어 제어 기반 합성 장치를 설명하기로 한다.
- [0179] 도 10은 본 발명의 또 다른 실시예에 따른 레이어 제어 기반 합성 장치의 구성을 도시한 것이다.
- [0180] 본 발명의 또 다른 실시예에 따른 레이어 제어 기반 합성 장치(300)의 구성요소는 전술한 본 발명의 레이어 제어 기반 합성 장치와 동일한 기술적 구성요소를 포함할 수 있고, 중복되는 구성요소에 대해서는 중복 기재를 생략하기로 한다.
- [0181] 도 10을 참조하면, 본 발명의 또 다른 실시예에 따른 레이어 제어 기반 합성 장치(300)는 합성 히팅존(311)과 소스 히팅존(312)을 구비하는 합성 유닛(310) 및 스테이지(321)를 구비한 로테이터(320)를 포함한다.
- [0182] 합성 유닛(310)은 모노레이어의 물질이 합성되는 챔버(미도시)를 갖는 합성 히팅존(311)과, 합성 히팅존(311)과 구분되고 상기 물질의 활성화된 소스 가스를 상기 챔버로 공급하여 상기 모노레이어 상에 핵형성되어 합성 구조체가 형성되도록 하는 소스 히팅존(312)을 구비한다.
- [0183] 합성 유닛(310)은 로테이터(320)를 중심으로 적어도 하나 이상이 배치된다.
- [0184] 로테이터(320)는 합성 구조체가 형성되는 스테이지(321)를 구비하고, 로테이터(320)는 스테이지(321)가 상기 챔버 내로 인입 및 인출되도록 스테이지(321)에 회전력을 제공한다.
- [0185] 본 발명의 또 다른 실시예에 따른 레이어 제어 기반 합성 장치(300)에 있어서, 로테이터(320)는 적어도 하나 이상의 합성 유닛(310)의 챔버 각각에 대하여 스테이지(321)를 인입 및 인출하여 순차적으로 모노레이어가 형성되도록 제어할 수 있다.
- [0186] 본 발명의 또 다른 실시예에 따른 로테이터(320)를 중심으로 적어도 하나 이상이 배치되는 합성 유닛(310)을 구비한 레이어 제어 기반 합성 장치(300)를 이용하여 합성 구조체를 형성할 경우, 상호 오염(cross-contamination)을 방지할 수 있다.
- [0187] 이하에서는 도 11을 참조하여 본 발명의 또 다른 실시예에 따른 레이어 제어 기반 합성 장치를 설명하기로 한다.
- [0189] 도 11은 본 발명의 또 다른 실시예에 따른 레이어 제어 기반 합성 장치의 구성을 도시한 것이다.
- [0190] 본 발명의 또 다른 실시예에 따른 레이어 제어 기반 합성 장치(400)의 구성요소는 전술한 본 발명의 레이어 제어 기반 합성 장치와 동일한 기술적 구성요소를 포함할 수 있고, 중복되는 구성요소에 대해서는 중복 기재를 생략하기로 한다.
- [0191] 도 11을 참조하면, 본 발명의 또 다른 실시예에 따른 레이어 제어 기반 합성 장치(400)는 롤투롤(roll-to-roll) 타입의 합성 장치로서, 제1 히팅존(410) 및 제2 히팅존(420)을 포함하고, 제1 히팅존(410)은 제2 히팅존(420)에 비하여 상대적으로 낮은 온도 환경을 갖는다.
- [0192] 제1 히팅존(410)은 합성을 위한 이동 수단 및 상기 이동 수단의 일 측에 구비되어 가열을 하는 제1 히팅 수단(미도시)을 구비할 수 있다.
- [0193] 제1 히팅존(410)은 롤투롤 방식으로 제2 히팅존(420) 방향으로 제1 물질의 모노레이어를 제공할 수 있다.
- [0194] 제2 히팅존(420)은 제2 물질의 소스 가스를 활성화시키기 위한 제2 히팅 수단(421) 및 상기 제1 물질의 모노레이어 상에 상기 (활성화된) 제2 물질의 소스 가스를 공급하기 위한 가스 라인(422)을 포함할 수 있다.
- [0195] 제2 히팅존(420)은 제1 히팅존(410)으로부터 제공받은 상기 제1 물질의 모노레이어 상에 활성화된 제2 물질의 소스 가스를 공급한다.
- [0196] 예를 들어, 제2 물질의 소스 가스는 가스 라인(422)를 통하여 공급되면서, 가스 라인(422)의 주변에 배치된 제2

히팅 수단(421)에 의해 공급과 동시에 활성화될 수 있다.

- [0197] 본 발명의 또 다른 실시예에 따른 롤투롤 타입의 레이어 제어 기반 합성 장치(400)를 이용하여 합성 구조체를 형성할 경우, 대면적으로 층수 조절 가능한 합성 구조체를 형성할 수 있다.
- [0198] 이하에서는 도 12를 참조하여 본 발명의 레이어 제어 기반 합성 방법을 설명하기로 한다.
- [0200] 도 12는 본 발명의 레이어 제어 기반 합성 방법을 설명하기 위해 도시한 흐름도이다.
- [0201] 도 12를 참조하면, 본 발명의 일 실시예에 따른 레이어 제어 기반 합성 방법은 단계 S110에서 레이어 제어 기반 합성 장치의 제1 히팅존에서 제1 물질의 모노레이어를 합성한다.
- [0202] 또한, 단계 S120에서 제1 히팅존(110)과 구분되는 제2 히팅존(120)으로부터 활성화된 제2 물질의 소스 가스를 제1 히팅존(110)으로 공급하여 상기 모노레이어 상에 상기 활성화된 제2 물질의 소스 가스가 핵형성되어 합성 구조체를 형성한다.
- [0204] 실시예: 멀티레이어 그래핀 합성 구조체 합성 방법
- [0205] 본 발명의 레이어 제어 기반 합성 장치를 통하여 합성된 합성 구조체에 있어서, 제1 물질 및 제2 물질이 동일한 그래핀일 경우, 본 발명의 일 실시예에 따른 레이어 제어 기반 합성 장치에 의하여 합성 구조체로서 멀티레이어 그래핀을 합성할 수 있다.
- [0206] 본 발명의 일 측면에 따르면, 다른 변수 없이 오직 그래핀의 합성(성장) 시간의 조절을 통하여 도 4 내지 도 5e에 도시된 바와 같이 반데르발스 에피 성장의 그래핀의 합성을 반복하여 멀티레이어 그래핀을 합성하였다.
- [0207] 구체적으로, 먼저, 모노레이어 그래핀을 합성하기 위하여, 그래핀을 합성시키기 위한 베이스 기판으로서 화학적 기계 연마(CMP)된 두께 25  $\mu\text{m}$  수준의 구리 호일을 제1 히팅존의 중앙에 배치시켰다.
- [0208] 제1 히팅존 및 제2 히팅존의 온도를 약 40분 간 1,040 $^{\circ}\text{C}$ 까지 증가시킨 후 약 40분 간 상기 온도를 유지함으로써 구리 호일 베이스 기판 상에 대면적 모노레이어 그래핀을 합성하였다. 여기서, 합성의 조건은, 1 Torr 및 1,040 $^{\circ}\text{C}$ 에서 약 10분 간  $\text{CH}_4$  가스 10 sccm 및  $\text{H}_2$  가스 300 sccm를 제1 히팅존 및 제2 히팅존으로 유입시키는 것으로 하였다.
- [0209] 기 합성된 모노레이어 그래핀은 반데르발스 에피 성장의 그래핀을 합성하기 위한 기판으로 사용된다.
- [0210] 구체적으로, 반데르발스 에피 성장의 그래핀을 합성하기 위하여,  $\text{CH}_4$  가스의 유량을 100 sccm,  $\text{H}_2$  가스의 유량을 10 sccm, 챔버 내의 압력을 1 Torr, 제1 히팅존의 온도를 750 $^{\circ}\text{C}$  및 제2 히팅존의 온도를 1,100 $^{\circ}\text{C}$ 로 하여, 기 합성된 모노레이어 그래핀 상에 반데르발스 에피 성장의 그래핀을 합성하였다.
- [0211] 결과적으로, 모노레이어 그래핀 상에 반데르발스 에피 성장의 그래핀이 합성된 멀티레이어 그래핀을 합성하였다.
- [0213] 도 13은 본 발명의 일 실시예에 따라 다양한 시간 조절을 통하여 합성된 1층의 모노레이어 그래핀 내지 7층의 멀티레이어 그래핀에 대한 고 해상도 투과 전자 현미경(HRTEM) 이미지를 도시한 것이다.
- [0214] 도 13을 참조하면, 그래핀의 합성 시간을 10분 내지 430분까지 조절함으로써 다양한 층수의 그래핀이 합성되는 것을 확인할 수 있다. 구체적으로, 그래핀의 합성(성장) 시간이 10분인 경우, 1층의 그래핀이 합성되었고, 70분인 경우 2층, 130분인 경우 3층, 200분인 경우 4층, 270분인 경우 5층, 350분인 경우 6층, 그리고 430분인 경우 7층의 그래핀이 합성되는 것을 확인할 수 있다.
- [0216] 이상과 같이 본 발명은 비록 한정된 실시예와 도면에 의하여 설명되었으나, 본 발명은 상기의 실시예에 한정되는 것은 아니며, 본 발명이 속하는 분야에서 통상의 지식을 가진 자라면 이러한 기재로부터 다양한 수정 및 변형이 가능하다.

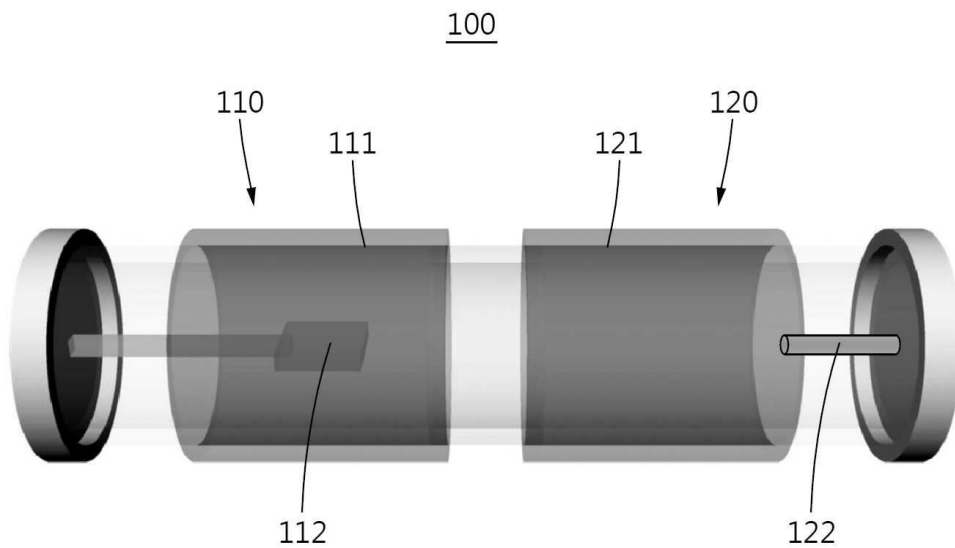
[0217] 그러므로, 본 발명의 범위는 설명된 실시예에 국한되어 정해져서는 아니 되며, 후술하는 특허청구범위뿐 아니라 이 특허청구범위와 균등한 것들에 의하여 정해져야 한다.

### 부호의 설명

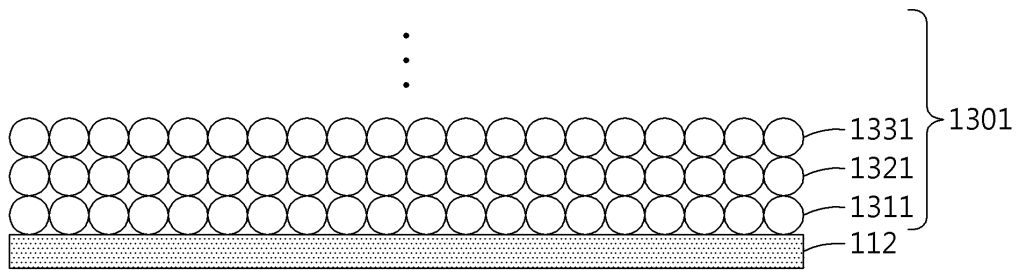
[0219] 100, 100', 200, 300, 400: 레이어 제어 기반 합성 장치  
 110, 410: 제1 히팅존 111: 제1 챔버  
 112, 321: 스테이지 120, 120', 420: 제2 히팅존  
 121: 제2 챔버 122, 122', 422: 가스 라인  
 123', 421: 제2 히팅 수단 1301, 1302, 1303: 합성 구조체  
 1311, 1312, 1313: 제1 물질의 모노레이어  
 1321, 1331, 1322, 1332, 1323, 1333: 제2 물질의 레이어  
 210: 성장 챔버 221, 222, 223, 224: 히팅존  
 310: 합성 유닛 311: 합성 히팅존  
 312: 소스 히팅존 320: 로테이터

### 도면

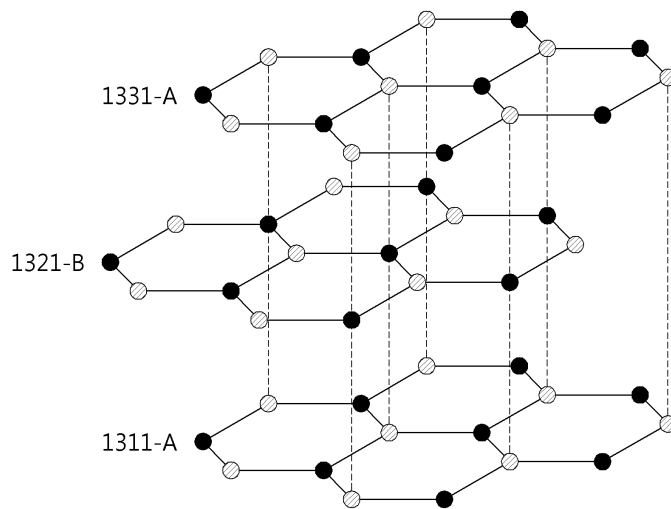
#### 도면1



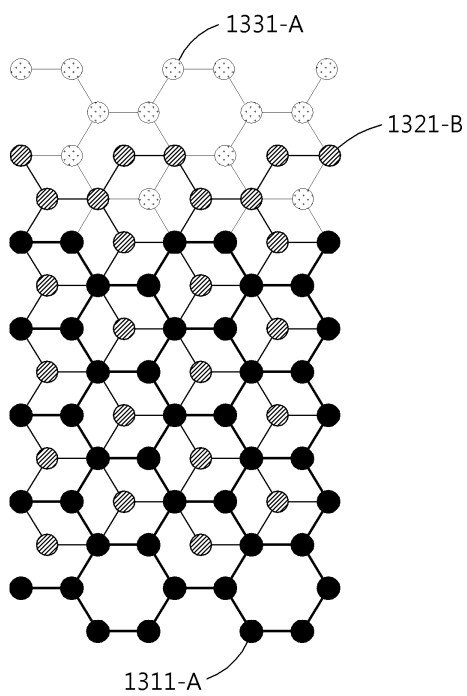
도면2



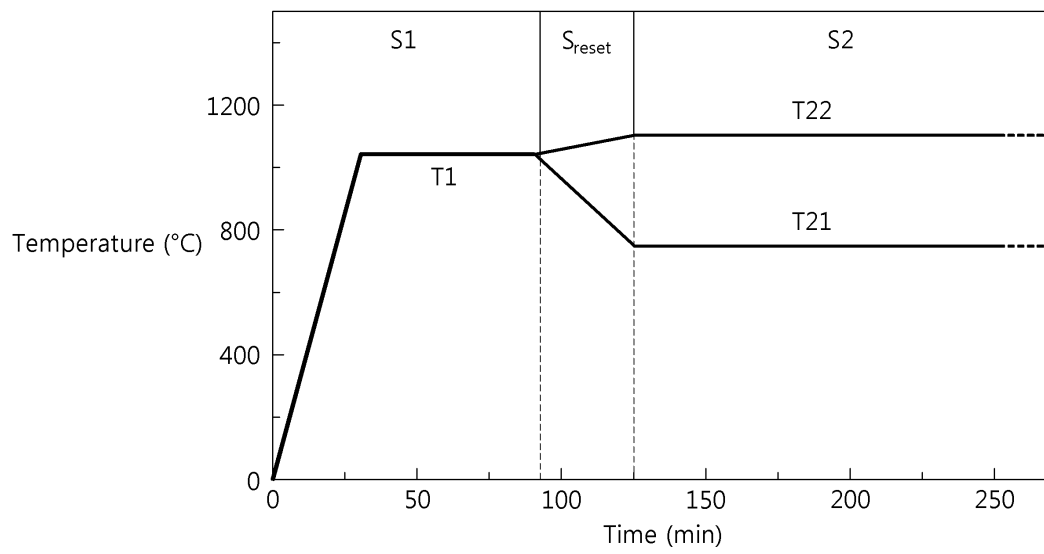
도면3a



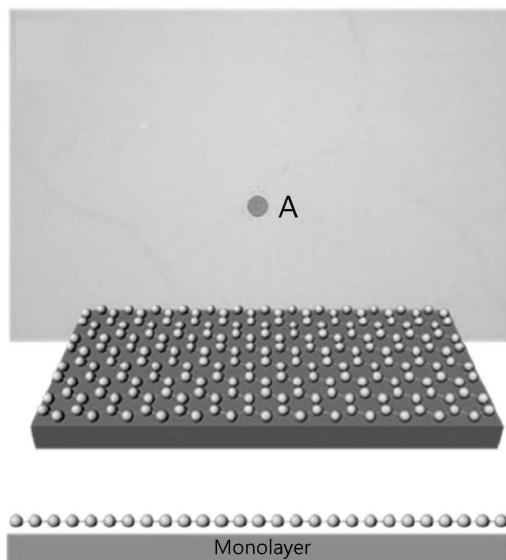
도면3b



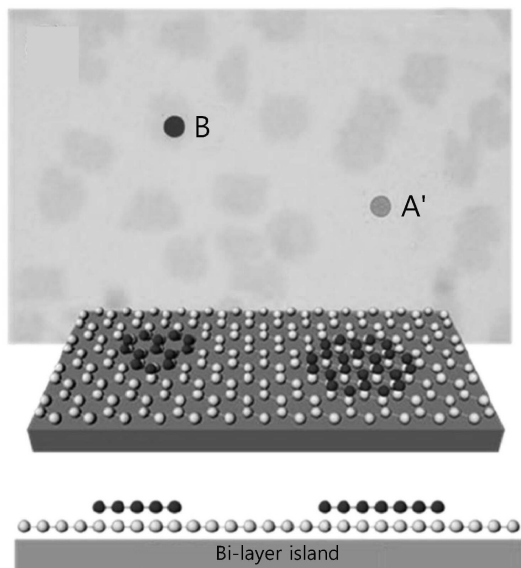
도면4



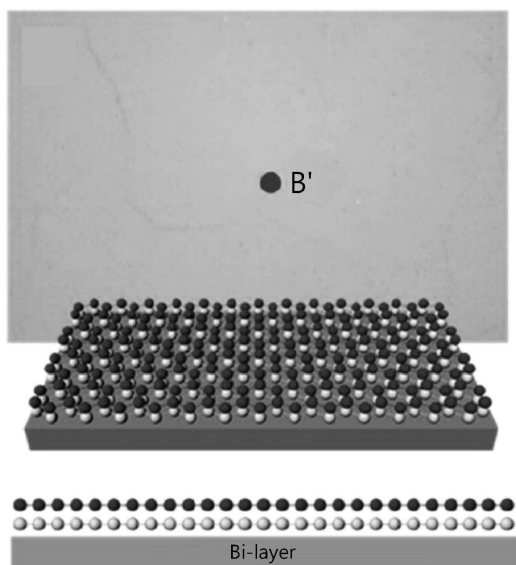
도면5a



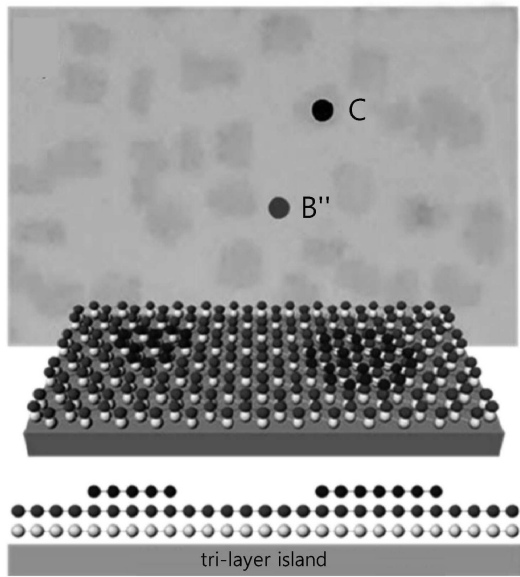
도면5b



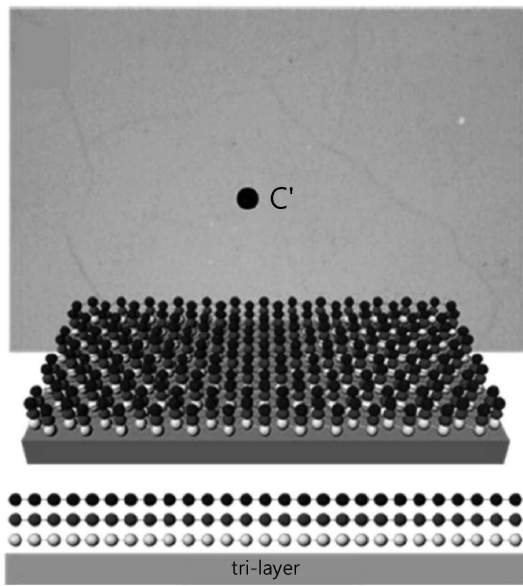
도면5c



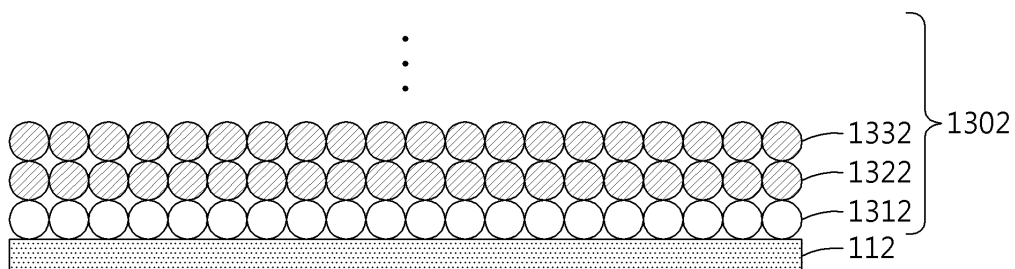
도면5d



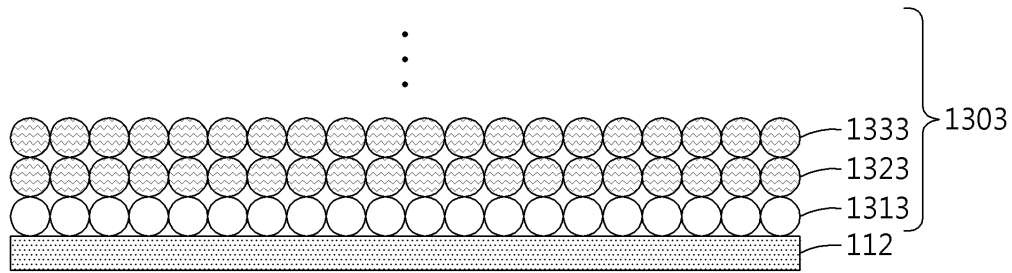
도면5e



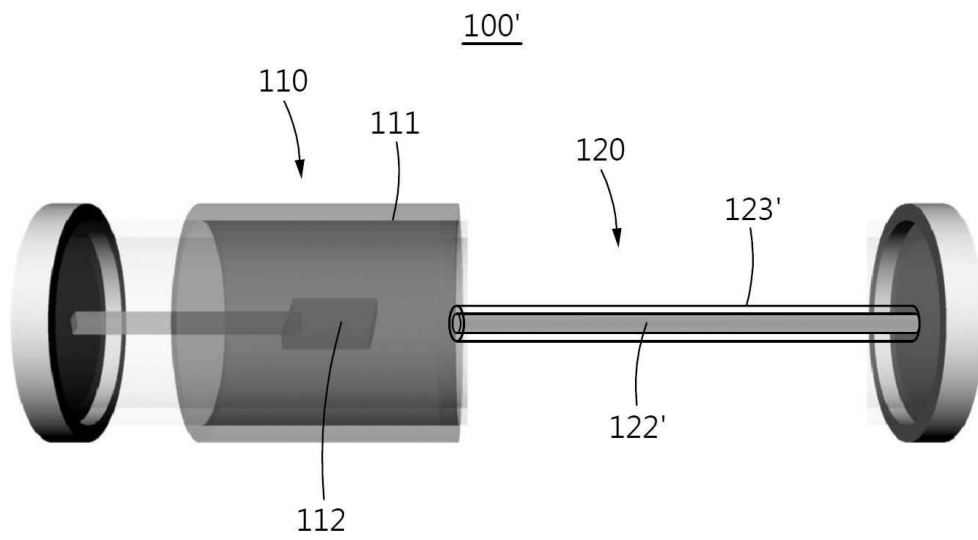
도면6



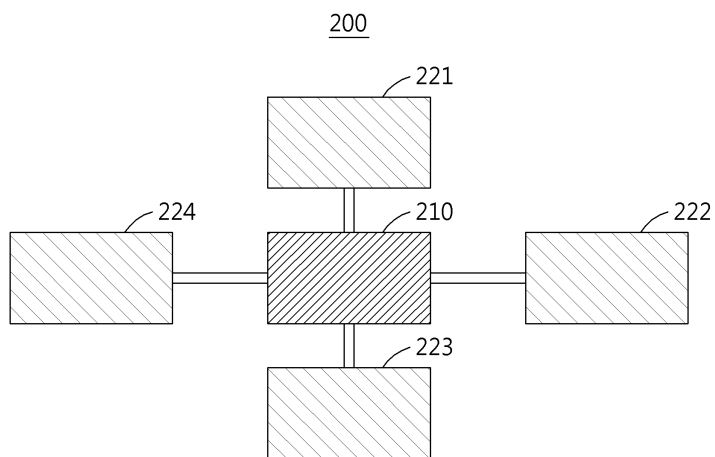
도면7



도면8

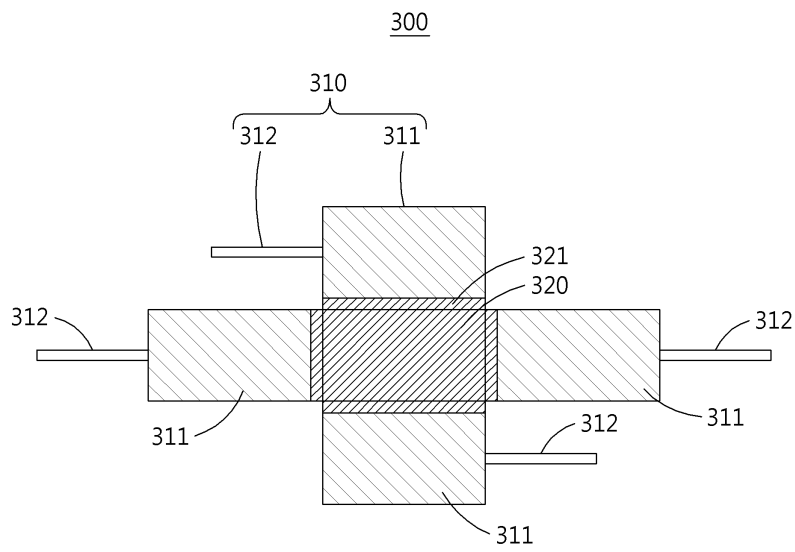


도면9

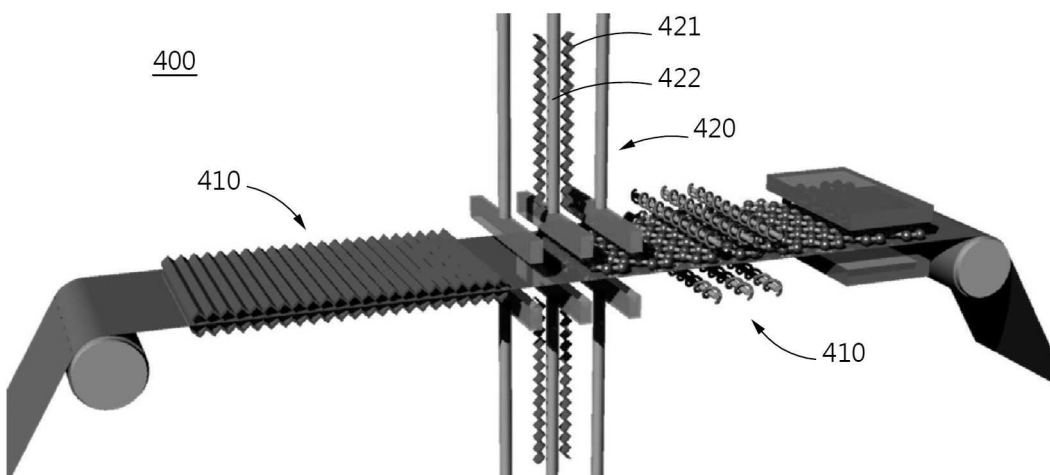




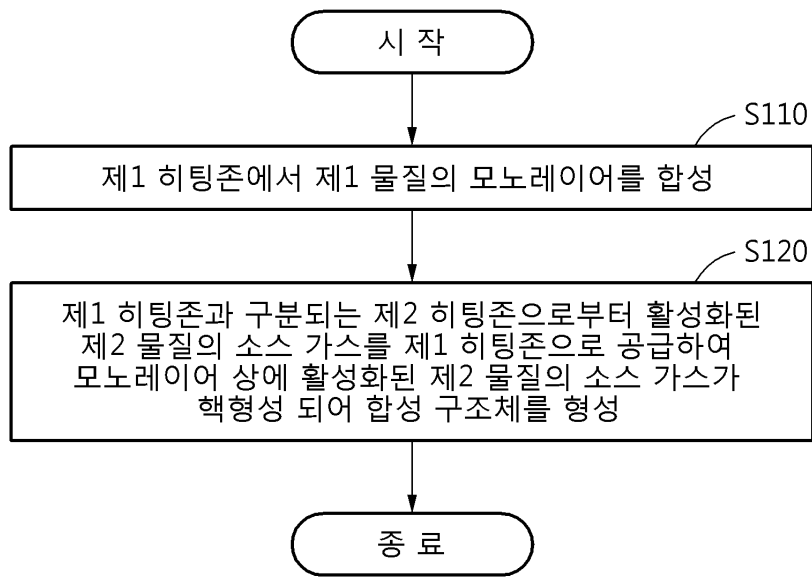
도면10



도면11



도면12



도면13

