



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2023-0091702
(43) 공개일자 2023년06월23일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
H01L 21/02 (2006.01) H01L 29/12 (2006.01)
H01L 29/66 (2006.01) H01L 29/786 (2006.01)
(52) CPC특허분류
H01L 21/0259 (2013.01)
H01L 21/02439 (2013.01)
(21) 출원번호 10-2021-0181076
(22) 출원일자 2021년12월16일
심사청구일자 없음

(71) 출원인
삼성전자주식회사
경기도 수원시 영통구 삼성로 129 (매탄동)
울산과학기술원
울산광역시 울주군 언양읍 유니스트길 50
(72) 발명자
설민수
경기도 수원시 영통구 삼성로 130 (매탄동삼성
전자소재단지연구2동)
신현석
울산광역시 울주군 언양읍 유니스트길 50
(뒷면에 계속)
(74) 대리인
리엔목특허법인

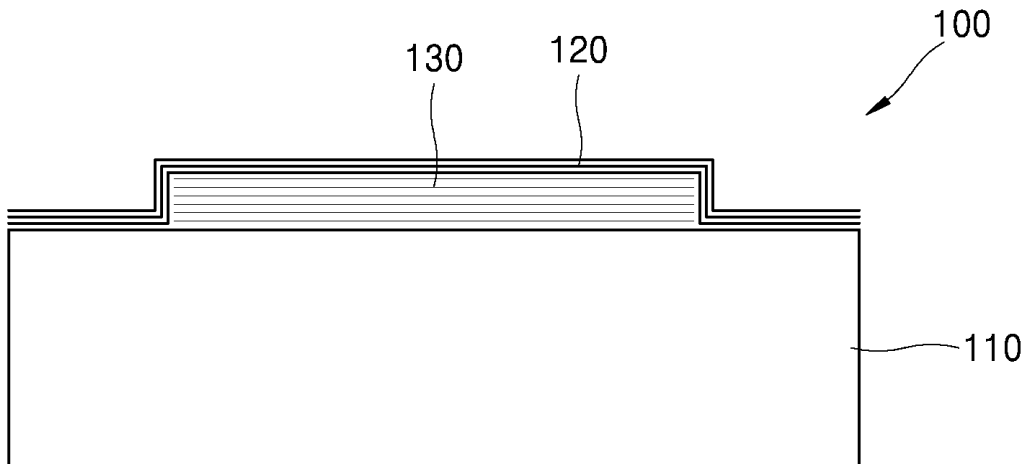
전체 청구항 수 : 총 28 항

(54) 발명의 명칭 이중 이차원 물질의 복합체 및 그 제조방법

(57) 요약

이중 이차원 물질의 복합체 및 그 제조방법이 개시된다. 개시된 이중 이차원 물질의 복합체는 기판; 상기 기판에 마련되며, 이차원 결정 구조를 가지는 제1 이차원 물질층; 및 상기 기판과 상기 제1 이차원 물질층 사이에 마련되며, 복수개의 인 원자들이 공유 결합된 이차원 결정 구조를 가지는 제2 이차원 물질층;을 포함한다.

대표도 - 도1



(52) CPC특허분류

H01L 21/02513 (2013.01)

H01L 21/02521 (2013.01)

H01L 21/02664 (2013.01)

H01L 29/12 (2013.01)

H01L 29/66772 (2013.01)

H01L 29/78696 (2013.01)

(72) 발명자

변경은

경기도 성남시 분당구 미금로 177, 313동 504호 (구미동, 까치마을)

황현태

울산광역시 울주군 언양읍 유니스트길 50

이창석

경기도 수원시 영통구 덕영대로 1410, 114동 2203호 (망포동, 영통아이파크캐슬1단지)

김형준

울산광역시 울주군 언양읍 유니스트길 50

명세서

청구범위

청구항 1

기관;

상기 기관에 마련되며, 이차원 결정 구조를 가지는 제1 이차원 물질층; 및

상기 기관과 상기 제1 이차원 물질층 사이에 마련되며, 복수개의 인(phosphorus) 원자들이 공유 결합된 이차원 결정 구조를 가지는 제2 이차원 물질층;을 포함하는 이중 이차원 물질의 복합체.

청구항 2

제 1 항에 있어서,

상기 제1 이차원 물질층은 그래핀(graphene), h-BN(hexagonal-boron nitride), 또는 TMD(transtion metal dichalcogenide)를 포함하는 이중 이차원 물질의 복합체.

청구항 3

제 1 항에 있어서,

상기 제2 이차원 물질층은 자린(violet phosphorous)을 포함하는 이중 이차원 물질의 복합체.

청구항 4

제 3 항에 있어서,

상기 제2 이차원 물질층은 흑린(black phosphorous)을 더 포함하는 이중 이차원 물질의 복합체.

청구항 5

제 1 항에 있어서,

상기 제2 이차원 물질층은 상기 기관과 상기 제1 이차원 물질층 사이의 일부 영역에 마련되는 이중 이차원 물질의 복합체.

청구항 6

제 5 항에 있어서,

상기 기관과 상기 제1 이차원 물질층 사이의 다른 영역에서는 상기 제1 이차원 물질층이 반데르발스 힘에 의해 상기 기관에 결합되어 있는 이중 이차원 물질의 복합체.

청구항 7

제 1 항에 있어서,

상기 제1 및 제2 이차원 물질층은 각각 10nm 이하의 두께를 가지는 이중 이차원 물질의 복합체.

청구항 8

기관에 인 전구체막(phosphorous precursor film)을 형성하는 단계;

상기 인 전구체막에 이차원 결정 구조를 가지는 제1 이차원 물질층을 형성하는 단계; 및

상기 인 전구체막에 레이저 빔을 국부적으로 조사하여 복수개의 인 원자들이 공유 결합된 이차원 결정 구조를 가지는 제2 이차원 물질층;을 형성하는 단계;를 포함하는 이중 이차원 물질의 복합체의 제조방법.

청구항 9

제 8 항에 있어서,

상기 인 전구체막은 백린(white phosphorus), 적린(red phosphorus), PI_3 (phosphorus triiodide) 또는 PCl_3 (phosphorus trichloride)를 포함하는 이중 이차원 물질의 복합체의 제조방법.

청구항 10

제 8 항에 있어서,

상기 레이저 빔이 조사되는 상기 인 전구체막의 영역은 $400^{\circ}C \sim 1000^{\circ}C$ 로 가열되는 이중 이차원 물질의 복합체의 제조방법.

청구항 11

제 10 항에 있어서,

상기 레이저 빔이 조사되는 상기 인 전구체막의 영역은 $500^{\circ}C \sim 700^{\circ}C$ 로 가열되는 이중 이차원 물질의 복합체의 제조방법.

청구항 12

제 10 항에 있어서,

상기 레이저 빔의 조사는 상압에서 수행되는 이중 이차원 물질의 복합체의 제조방법.

청구항 13

제 8 항에 있어서,

상기 제2 이차원 물질층은 자린 및 흑린 중 적어도 하나를 포함하는 이중 이차원 물질의 복합체의 제조방법.

청구항 14

제 8 항에 있어서,

상기 제2 이차원 물질층 및 상기 인 전구체막에 열처리 공정을 수행하는 단계;를 더 포함하는 이중 이차원 물질의 복합체의 제조방법.

청구항 15

제 14 항에 있어서,

상기 열처리 공정에 의해 상기 인 전구체막이 제거되는 이중 이차원 물질의 복합체의 제조방법.

청구항 16

제 15 항에 있어서,

상기 인 전구체막이 제거된 영역에서는 상기 제1 이차원 물질층이 반데르발스 힘에 의해 상기 기판에 결합되어 있는 이중 이차원 물질의 복합체의 제조방법.

청구항 17

제 14 항에 있어서,

상기 열처리 공정은 $400^{\circ}C \sim 700^{\circ}C$ 에서 수행되는 이중 이차원 물질의 복합체의 제조방법.

청구항 18

제 17 항에 있어서,

상기 열처리 공정은 $400^{\circ}C \sim 500^{\circ}C$ 에서 수행되는 이중 이차원 물질의 복합체의 제조방법.

청구항 19

제 8 항에 있어서,

상기 제1 및 제2 이차원 물질층은 각각 10nm 이하의 두께를 가지도록 형성되는 이중 이차원 물질의 복합체의 제조방법.

청구항 20

기판에 마련되며, 이차원 결정 구조를 가지는 제1 이차원 물질층;

상기 기판과 상기 제1 이차원 물질층 사이에 마련되며, 복수개의 인 원자들이 공유 결합된 이차원 결정 구조를 가지는 제2 이차원 물질층;

상기 제2 이차원 물질층의 양측에 각각 마련되는 제1 및 제2 전극; 및

상기 제1 이차원 물질층에 마련되는 제3 전극;을 포함하는 전자 소자.

청구항 21

제 20 항에 있어서,

상기 제2 이차원 물질층은 자린을 포함하는 전자 소자.

청구항 22

제 21 항에 있어서,

상기 제2 이차원 물질층은 흑린을 더 포함하는 전자 소자.

청구항 23

제 20 항에 있어서,

상기 제1 및 제2 전극은 상기 제2 이차원 물질층의 양단부와 각각 에지 컨택(edge contact)을 형성하도록 마련된 전자 소자.

청구항 24

제 23 항에 있어서,

상기 제1 이차원 물질층은 h-BN을 포함하는 전자 소자.

청구항 25

제 20 항에 있어서,

상기 제1 및 제2 전극은 상기 제1 이차원 물질층의 양측과 각각 평면 컨택(planar contact)를 형성하도록 마련된 전자 소자.

청구항 26

제 25 항에 있어서,

상기 제1 이차원 물질층은 h-BN을 포함하는 전자 소자.

청구항 27

제 25 항에 있어서,

상기 제1 이차원 물질층은 상기 제1 및 제2 전극과 평면 컨택을 형성하는 그래핀과, 상기 제1 및 제2 전극 사이에 마련되는 플루오린화 그래핀(fluorinated graphene)을 포함하는 전자 소자.

청구항 28

제 20 항에 있어서,

상기 제1 이차원 물질층과 상기 제3 전극 사이에는 절연층이 마련되는 전자 소자.

발명의 설명

기술 분야

[0001] 본 개시는 이중 이차원 물질의 복합체 및 그 제조방법에 관한 것이다.

배경 기술

[0002] 이차원 물질은 이차원 결정 구조를 가지는 물질로서, 대략 1nm 이하의 얇은 두께에서도 안정적이고 우수한 물리적 특성을 가지고 있으므로, 벌크형 물질의 스케일 다운에 따른 성능 저하 한계를 극복할 수 있는 물질로 각광을 받고 있다.

[0003] 이차원 물질 중에서도 인(phosphorous) 기반의 이차원 물질인 흑린(black phosphorous) 또는 자린(violet phosphorous)은 높은 전하 이동도를 가지면서도 그래핀과 달리 밴드갭을 가지고 있으므로, 온/오프 전류비(on/off current ratio)를 확보할 수 있어 다양한 분야의 전자 소자에 응용되고 있다.

발명의 내용

해결하려는 과제

[0004] 예시적인 실시예는 이중 이차원 물질의 복합체 및 그 제조방법을 제공한다.

과제의 해결 수단

[0005] 일 측면에 있어서,

[0006] 기판;

[0007] 상기 기판에 마련되며, 이차원 결정 구조를 가지는 제1 이차원 물질층; 및

[0008] 상기 기판과 상기 제1 이차원 물질층 사이에 마련되며, 복수개의 인(phosphorus) 원자들이 공유 결합된 이차원 결정 구조를 가지는 제2 이차원 물질층;을 포함하는 이중 이차원 물질의 복합체가 제공된다.

[0009] 상기 제1 이차원 물질층은 그래핀(graphene), h-BN(hexagonal-boron nitride), 또는 TMD(transtion metal dichalcogenide)를 포함할 수 있다.

[0010] 상기 제2 이차원 물질층은 자린(violet phosphorous)을 포함할 수 있다.

[0011] 상기 제2 이차원 물질층은 흑린(black phosphorous)을 더 포함할 수 있다.

[0012] 상기 제2 이차원 물질층은 상기 기판과 상기 제1 이차원 물질층 사이의 일부 영역에 마련될 수 있다.

[0013] 상기 기판과 상기 제1 이차원 물질층 사이의 다른 영역에서는 상기 제1 이차원 물질층이 반데르발스 힘에 의해 상기 기판에 결합되어 있을 수 있다.

[0014] 상기 제1 및 제2 이차원 물질층은 각각 10nm 이하의 두께를 가질 수 있다.

[0015] 다른 측면에 있어서,

[0016] 기판에 인 전구체막(phosphorous precursor film)을 형성하는 단계;

[0017] 상기 인 전구체막에 이차원 결정 구조를 가지는 제1 이차원 물질층을 형성하는 단계; 및

[0018] 상기 인 전구체막에 레이저 빔을 국부적으로 조사하여 복수개의 인 원자들이 공유 결합된 이차원 결정 구조를 가지는 제2 이차원 물질층;을 형성하는 단계;를 포함하는 이중 이차원 물질의 복합체의 제조방법이 제공된다.

[0019] 상기 인 전구체막은 백린(white phosphorus), 적린(red phosphorus), PI_3 (phosphorus triiodide) 또는 PCl_3 (phosphorus trichloride)를 포함할 수 있다.

[0020] 상기 레이저 빔이 조사되는 상기 인 전구체막의 영역은 $400^{\circ}C \sim 1000^{\circ}C$ 로 가열될 수 있다. 상기 레이저 빔이 조

사되는 상기 인 전구체막의 영역은 $500^{\circ}\text{C} \sim 700^{\circ}\text{C}$ 로 가열될 수 있다.

- [0021] 상기 레이저 빔의 조사는 상압에서 수행될 수 있다.
- [0022] 상기 제2 이차원 물질층은 자린 및 흑린 중 적어도 하나를 포함할 수 있다.
- [0023] 상기 제2 이차원 물질층 및 상기 인 전구체막에 열처리 공정을 수행하는 단계;가 더 포함될 수 있다.
- [0024] 상기 열처리 공정에 의해 상기 인 전구체막이 제거될 수 있다.
- [0025] 상기 인 전구체막이 제거된 영역에서는 상기 제1 이차원 물질층이 반데르발스 힘에 의해 상기 기판에 결합될 수 있다.
- [0026] 상기 열처리 공정은 $400^{\circ}\text{C} \sim 700^{\circ}\text{C}$ 에서 수행될 수 있다. 상기 열처리 공정은 $400^{\circ}\text{C} \sim 500^{\circ}\text{C}$ 에서 수행될 수 있다.
- [0027] 상기 제1 및 제2 이차원 물질층은 각각 10nm 이하의 두께를 가지도록 형성될 수 있다.
- [0028] 또 다른 측면에 있어서,
- [0029] 기판에 마련되며, 이차원 결정 구조를 가지는 제1 이차원 물질층;
- [0030] 상기 기판과 상기 제1 이차원 물질층 사이에 마련되며, 복수개의 인 원자들이 공유 결합된 이차원 결정 구조를 가지는 제2 이차원 물질층;
- [0031] 상기 제2 이차원 물질층의 양측에 각각 마련되는 제1 및 제2 전극; 및
- [0032] 상기 제1 이차원 물질층에 마련되는 제3 전극;을 포함하는 전자 소자가 제공된다.
- [0033] 상기 제2 이차원 물질층은 자린을 포함할 수 있다.
- [0034] 상기 제2 이차원 물질층은 흑린을 더 포함할 수 있다.
- [0035] 상기 제1 및 제2 전극은 상기 제2 이차원 물질층의 양단부와 각각 에지 컨택(edge contact)을 형성하도록 마련될 수 있다.
- [0036] 상기 제1 이차원 물질층은 h-BN을 포함할 수 있다.
- [0037] 상기 제1 및 제2 전극은 상기 제1 이차원 물질층의 양측과 각각 평면 컨택(planar contact)를 형성하도록 마련될 수 있다.
- [0038] 상기 제1 이차원 물질층은 h-BN을 포함할 수 있다.
- [0039] 상기 제1 이차원 물질층은 상기 제1 및 제2 전극과 평면 컨택을 형성하는 그래핀과, 상기 제1 및 제2 전극 사이에 마련되는 플루오린화 그래핀(fluorinated graphene)을 포함할 수 있다.
- [0040] 상기 제1 이차원 물질층과 상기 제3 전극 사이에는 절연층이 마련될 수 있다.

발명의 효과

- [0041] 예시적인 실시예에 따른 이중 이차원 물질의 복합체에서는, 그래핀, h-BN, 또는 TMD 등을 포함하는 제1 이차원 물질층이 자린 및/또는 흑린을 포함하는 제2 이차원 물질층을 덮도록 마련됨으로써 제2 이차원 물질층은 산화 등과 같은 외부 영향으로부터 보호될 수 있다. 제2 이차원 물질층은 상온 및 상압 분위기에서 레이저 빔을 이용하여 기판과 제1 이차원 물질층 사이에 마련된 인 전구체 물질로부터 자린 또는 흑린을 합성함으로써 형성될 수 있다.
- [0042] 제2 이차원 물질층은 반도체 특성, 높은 전하이동도 및 높은 온/오프 전류비를 가지는 자린 및 흑린 중 적어도 하나를 포함하고 있으므로, 이중 이차원 물질의 복합체는 예를 들어 전계 효과 트랜지스터 또는 포토디텍터 등과 같은 다양한 전자 소자에 적용될 수 있다.

도면의 간단한 설명

- [0043] 도 1은 예시적인 실시예에 따른 이중 이차원 물질의 복합체를 도시한 단면도이다.
- 도 2는 다른 예시적인 실시예에 따른 이중 이차원 물질의 복합체를 도시한 단면도이다.

도 3 내지 도 8은 예시적인 실시예에 따른 이중 이차원 물질의 복합체의 제조방법을 설명하기 위한 도면들이다.

도 9는 적린을 포함하는 인 전구체막 중 레이저 빔이 조사된 영역과 레이저 빔이 조사되지 않은 영역에서 측정된 라만 스펙트럼들을 도시한 것이다.

도 10은 적린을 포함하는 인 전구체막에서 조사되는 레이저 빔의 출력에 따른 라만 스펙트럼들을 도시한 것이다.

도 11은 레이저 빔의 조사 후, 후속 열처리 공정의 온도에 따른 적린의 스펙트럼들을 도시한 것이다.

도 12는 레이저 빔의 조사 후, 후속 열처리 공정의 온도에 따른 자린의 스펙트럼들을 도시한 것이다.

도 13은 레이저 빔의 조사 후, 후속 열처리 공정에 의해 형성된 이중 이차원 물질의 복합체의 단면을 찍은 TEM 사진이다.

도 14는 예시적인 실시예에 따른 전자 소자를 도시한 단면도이다.

도 15는 다른 예시적인 실시예에 따른 전자 소자를 도시한 단면도이다.

도 16은 또 다른 예시적인 실시예에 따른 전자 소자를 도시한 단면도이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

- [0044] 이하, 첨부된 도면을 참조하여 예시적인 실시예들에 대해 상세히 설명하기로 한다. 이하의 도면들에서 동일한 참조부호는 동일한 구성요소를 지칭하며, 도면상에서 각 구성요소의 크기는 설명의 명료성과 편의상 과장되어 있을 수 있다. 한편, 이하에 설명되는 실시예는 단지 예시적인 것에 불과하며, 이러한 실시예들로부터 다양한 변형이 가능하다.
- [0045] 이하에서, "상부" 나 "상"이라고 기재된 것은 접촉하여 바로 위, 아래, 좌, 우에 있는 것뿐만 아니라 비접촉으로 위, 아래, 좌, 우에 있는 것도 포함할 수 있다. 단수의 표현은 문맥상 명백하게 다르게 뜻하지 않는 한, 복수의 표현을 포함한다. 또한 어떤 부분이 어떤 구성요소를 "포함"한다고 할 때, 이는 특별히 반대되는 기재가 없는 한 다른 구성요소를 제외하는 것이 아니라 다른 구성요소를 더 포함할 수 있는 것을 의미한다.
- [0046] “상기”의 용어 및 이와 유사한 지시 용어의 사용은 단수 및 복수 모두에 해당하는 것일 수 있다. 방법을 구성하는 단계들에 대하여 명백하게 순서를 기재하거나 반하는 기재가 없다면, 이러한 단계들은 적절한 순서로 행해질 수 있으며, 반드시 기재된 순서에 한정되는 것은 아니다.
- [0047] 또한, 명세서에 기재된 “...부”, “모듈” 등의 용어는 적어도 하나의 기능이나 동작을 처리하는 단위를 의미하며, 이는 하드웨어 또는 소프트웨어로 구현되거나 하드웨어와 소프트웨어의 결합으로 구현될 수 있다.
- [0048] 도면에 도시된 구성 요소들 간의 선들의 연결 또는 연결 부재들은 기능적인 연결 및/또는 물리적 또는 회로적 연결들을 예시적으로 나타낸 것으로서, 실제 장치에서는 대체 가능하거나 추가의 다양한 기능적인 연결, 물리적인 연결, 또는 회로 연결들로서 나타내어질 수 있다.
- [0049] 모든 예들 또는 예시적인 용어의 사용은 단순히 기술적 사상을 상세히 설명하기 위한 것으로서 청구범위에 의해 한정되지 않는 이상 이러한 예들 또는 예시적인 용어로 인해 범위가 한정되는 것은 아니다.
- [0051] 도 1은 예시적인 실시예에 따른 이중 이차원 물질의 복합체(100)를 도시한 단면도이다.
- [0052] 도 1을 참조하면, 이중 이차원 물질의 복합체(100)는 기판(110)과, 기판(110)에 마련되는 제1 이차원 물질층(120)과, 기판(110)과 제1 이차원 물질층(120) 사이에 마련되는 제2 이차원 물질층(130)을 포함한다.
- [0053] 기판(110)으로는 반도체 기판 또는 절연성 기판 등과 같은 다양한 재질의 기판이 사용될 수 있다. 제2 이차원 물질층(130)은 기판(110)에 마련되어 있으며, 제1 이차원 물질층(120)은 제2 이차원 물질층(130)을 덮도록 기판(110)에 마련되어 있다.
- [0054] 제1 이차원 물질층(120)은 구성 원자들이 평면적으로 결합된 이차원 결정 구조를 가지는 이차원 물질을 포함할 수 있다. 제1 이차원 물질층(120)은 제2 이차원 물질층(130)과는 다른 이중의 이차원 물질을 포함할 수 있다.
- [0055] 제1 이차원 물질층(120)은 단층 구조 또는 다층 구조를 가질 수 있다. 제1 이차원 물질층(120)은 예를 들면, 대

약 10nm 이하의 두께를 가질 수 있다. 제1 이차원 물질층(120)이 다층 구조를 가지는 경우에는 적층된 층들은 반데르발스 힘에 의해 서로 결합될 수 있다.

[0056] 제1 이차원 물질층(120)은 예를 들면, 도전성의 이차원 물질인 그래핀(graphene)을 포함할 수 있다. 그래핀은 탄소 원자들이 이차원적으로 공유 결합된 육각형 벌집 구조(hexagonal honeycomb) 구조를 가지는 이차원 물질이다.

[0057] 제1 이차원 물질층(120)이 단층 그래핀으로 이루어진 경우에는 제1 이차원 물질층(121)은 대략 0.34nm 정도의 두께를 가질 수 있다. 또한, 제1 이차원 물질층(120)이 다층 그래핀으로 이루어진 경우에는 적층된 층들 사이의 간격은 예를 들면, 대략 0.34nm 정도가 될 수 있다. 여기서, 층들 사이의 간격은 각 층의 중심부 사이의 거리를 의미한다.

[0058] 제1 이차원 물질층(120)은 예를 들면, 절연성 이차원 물질인 h-BN(hexagonal-Boron Nitride)를 포함할 수 있다. 또한, 제1 이차원 물질층(120)은 예를 들면, 반도체 특성을 가지는 이차원 물질인 TMD(transtion metal dichalcogenide)를 포함할 수 있다.

[0059] TMD는 열적 안정성 및 기계적 강도가 우수하고, 높은 열전도도를 가지고 있는 이차원 물질이다. TMD는 예를 들면, Mo, W, Nb, V, Ta, Ti, Zr, Hf, Tc, Re, Cu, Ga, In, Sn, Ge, Pb 중 하나의 금속 원소와 S, Se, Te 중 하나의 칼코겐 원소를 포함할 수 있다. 그러나, 이상에서 언급된 물질들은 단지 예시적인 것이고, 그 밖에 다른 물질들이 TMD 물질로 사용될 수도 있다.

[0060] 제1 이차원 물질층(120)은 제2 이차원 물질층(130)을 덮도록 기판(110)에 마련될 수 있다. 예를 들면, 제1 이차원 물질층(120)은 그 양측이 도 1에 도시된 바와 같이 기판(110)에 접촉하도록 마련될 수 있다. 이 경우, 제1 이차원 물질층(120)의 양측은 반데르발스 힘에 의해 기판(110)에 결합될 수 있다. 또한, 제1 이차원 물질층(120)은 그 아래에 위치한 제2 이차원 물질층(130)과도 반데르발스 힘에 의해 서로 결합될 수 있다.

[0061] 제2 이차원 물질층(130)은 기판(110)과 제1 이차원 물질층(120) 사이의 일부 영역에 마련될 수 있다. 예를 들면, 제2 이차원 물질층(130)은 기판(110)과 제1 이차원 물질층(120) 사이의 가운데 영역에 마련될 수 있다.

[0062] 제2 이차원 물질층(130)은 인(P) 원자들이 평면적으로 공유결합된 이차원 결정 구조를 가지는 이차원 물질을 포함할 수 있다. 구체적으로, 제2 이차원 물질층(130)은 자린(violet phosphorus) 및 흑린(black phosphorus) 중 적어도 하나를 포함할 수 있다.

[0063] 자린 및 흑린은 그래핀과는 달리 반도체 특성을 가지며 소정의 밴드갭 에너지를 가지고 있다. 예를 들어, 자린은 두께에 따라 대략 1.7 eV ~ 2.5eV의 밴드갭 에너지를 가지고 있으며, 흑린은 두께에 따라 대략 0.3 eV ~ 1.5eV의 밴드갭 에너지를 가지고 있다. 자린 및 흑린은 대략 $1000 \text{ cm}^2/\text{Vs}$ 의 높은 전하이동도(charge mobiltiy)와 $10^4 \sim 10^5$ 정도의 높은 온/오프 전류비(on/off current ratio)을 가지고 있다. 따라서, 2차원 물질의 자린 및 흑린은 후술하는 바와 같이 반도체 소자에서 채널 물질로 사용될 수 있으며, 이외에도 다양한 분야의 전자 소자에 응용될 수 있다.

[0064] 제2 이차원 물질층(130)은 단층 구조 또는 다층 구조를 가질 수 있다. 제2 이차원 물질층(130)은 1층 ~ 50층을 포함할 수 있지만 이에 한정되는 것은 아니다. 제2 이차원 물질층(130)은 대략 10nm 이하의 두께를 가질 수 있다. 제2 이차원 물질층(130)이 단층 구조를 가지는 경우에 제2 이차원 물질층(130)은 대략 0.5nm의 두께를 가질 수 있다.

[0065] 제2 이차원 물질층(130)은 반데르발스 힘에 의해 기판(110)에 결합되도록 마련될 수 있다. 또한, 제2 이차원 물질층(130)은 그 위에 있는 제1 이차원 물질층(120)과 반데르발스 힘에 의해 서로 결합되도록 마련될 수 있다.

[0066] 본 실시예에 따른 이중 이차원 물질의 복합체(100)에서는, 제1 이차원 물질층(120)이 자린 및/또는 흑린을 포함하는 제2 이차원 물질층(130)을 덮도록 마련됨으로써 제2 이차원 물질층(130)은 산화 등과 같은 외부 영향으로부터 보호될 수 있다. 또한, 제2 이차원 물질층(130)은 반도체 특성, 높은 전하이동도 및 높은 온/오프 전류비를 가지는 자린 및 흑린 중 적어도 하나를 포함하고 있으므로, 이중 이차원 물질의 복합체(100)는 예를 들어 전계 효과 트랜지스터(FET; Field Effect Transistor) 또는 포토디텍터(photodetector) 등과 같은 다양한 전자 소자에 적용될 수 있다.

[0067] 도 2는 다른 예시적인 실시예에 따른 이중 이차원 물질의 복합체(200)를 도시한 단면도이다.

[0068] 도 2를 참조하면, 기판(110)에 제1 이차원 물질층(120)이 마련되어 있으며, 기판(110)과 제1 이차원 물질층

(120) 사이에 제2 이차원 물질층(130)이 마련되어 있다. 제1 이차원 물질층(120)은 예를 들어, 그래핀, h-BN 또는 TMD 등을 포함할 수 있으며, 제2 이차원 물질층(130)은 자린 및 흑린 중 적어도 하나를 포함할 수 있다. 제1 및 제2 이차원 물질층(120, 130)에 대해서는 전술하였으므로 이에 대한 상세한 설명은 생략한다.

- [0069] 본 실시예에서, 제2 이차원 물질층(130)은 그 양 측면이 외부에 노출되도록 마련될 수 있다. 이러한 이중 이차원 물질의 복합체(200)는 도 1에 도시된 이중 이차원 물질의 복합체(100)의 양측 부분을 식각에 의해 제거함으로써 형성될 수 있다.
- [0070] 도 3 내지 도 8은 예시적인 실시예에 따른 이중 이차원 물질의 복합체(100)의 제조방법을 설명하기 위한 도면들이다.
- [0071] 도 3을 참조하면, 기판(110)의 상면에 인 전구체막(phosphorous precursor film, 130')을 형성한다. 기판(110)으로는 반도체 기판 또는 절연성 기판 등과 같은 다양한 재질의 기판이 사용될 수 있다.
- [0072] 인 전구체막(130')은 예를 들면 대략 10nm 이하의 두께로 형성될 수 있다. 인 전구체막(130')은 예를 들면, 적린(red phosphorus), 백린(white phosphorus), PI_3 (phosphorus triiodide) 또는 PCl_3 (phosphorus trichloride)를 포함할 수 있다.
- [0073] 예를 들어, 인 전구체막(130')은 PI_3 또는 PCl_3 를 포함하는 용액을 기판의 상면에 코팅한 다음 이를 환원시켜 적린막을 형성함으로써 형성될 수 있다. 또한, 인전구체막(130')은 적린 또는 백린을 기상 증착(vapor deposition)을 통해서 기판(110)의 상면에 형성될 수도 있다.
- [0074] 도 4를 참조하면, 인 전구체막(130')에 제1 이차원 물질층(120)을 형성한다. 제1 이차원 물질층(120)은 예를 들면 전사를 통해 인 전구체막(130')에 형성될 수 있다. 제1 이차원 물질층(120)은 그 아래에 있는 인 전구체막(130')과 반데르 발스 힘에 의해 서로 결합될 수 있다.
- [0075] 이러한 제1 이차원 물질층(120)은 인 전구체막(130')과는 다른 이중의 이차원 물질을 포함할 수 있다. 제1 이차원 물질층(120)은 단층 구조 또는 다층 구조를 가질 수 있다. 제1 이차원 물질층(120)은 예를 들면, 대략 10nm 이하의 두께를 가질 수 있다.
- [0076] 제1 이차원 물질층(120)은 예를 들면, 도전성의 이차원 물질인 그래핀을 포함할 수 있다. 제1 이차원 물질층(120)은 예를 들면, 절연성 이차원 물질인 h-BN을 포함할 수 있다. 또한, 제1 이차원 물질층(120)은 예를 들면, 반도체 특성을 가지는 이차원 물질인 TMD를 포함할 수 있다. TMD는 예를 들면, Mo, W, Nb, V, Ta, Ti, Zr, Hf, Tc, Re, Cu, Ga, In, Sn, Ge, Pb 중 하나의 금속 원소와 S, Se, Te 중 하나의 칼코겐 원소를 포함할 수 있다. 그러나, 이상에서 언급된 물질들은 단지 예시적인 것이다.
- [0077] 도 5를 참조하면, 레이저 빔을 인 전구체막(130')의 소정 영역(130a)에 국부적으로 조사한다. 구체적으로, 제1 이차원 물질층(120)의 상부에 레이저 조사 장치(미도시)를 마련하고, 이 레이저 조사 장치로부터 레이저 빔을 제1 이차원 물질층(120)을 통해 인 전구체막(130')에 조사한 다음, 이 레이저 빔을 소정 영역(130a) 내에서 이동시킨다. 도 5에는 레이저 빔이 인 전구체막(130')의 가운데 영역(130a)을 조사하는 경우가 예시적으로 도시되어 있다.
- [0078] 인 전구체막(130')에서 레이저 빔이 조사된 영역(130a)은 소정 온도로 가열될 수 있다. 예를 들어, 인 전구체막(130')의 소정 영역(130a)은 레이저 빔의 조사에 의해 대략 400℃ ~ 1000℃로 가열될 수 있다. 구체적인 예로서, 인 전구체막(130')의 소정 영역(130a)은 레이저 빔의 조사에 의해 대략 500℃ ~ 700℃로 가열될 수 있다.
- [0079] 이와 같이, 인 전구체막(130')의 소정 영역(130a)에 레이저 빔이 조사되어 가열되면, 인 전구체 물질(예를 들면, 적린)이 자린 또는 흑린으로 상전이(phase transition)될 수 있으며, 이에 따라 도 6에 도시된 바와 같이 레이저 빔이 조사된 영역(130a)에는 제2 이차원 물질층(130)이 형성될 수 있다. 여기서, 제2 이차원 물질층(130)은 자린 및/또는 흑린을 포함할 수 있다. 제2 이차원 물질층(130)은 인 전구체막의 두께에 따라 단층 구조 또는 다층 구조를 가질 수 있다. 제2 이차원 물질층(130)은 인 전구체막(130')의 두께에 따라 대략 10nm 이하의 두께를 가질 수 있다.
- [0080] 일반적으로, 자린이나 흑린은 높은 압력의 조건에서 적린 또는 백린을 가열함으로써 형성될 수 있다. 그러나, 본 실시예에는 상압(atmospheric pressure)과 같은 비교적 낮은 압력에서도 레이저 빔의 조사에 의해 인 전구체 물질을 자린 또는 흑린으로 상전이시킴으로써 제2 이차원 물질층(130)을 형성할 수 있다.

- [0081] 제1 이차원 물질층(120은 반데르 발스 힘에 의해 인 전구체막(130')과 결합되어 있으며, 이 경우 인 전구체막(130')에는 매우 큰 반데르 발스 압력이 가해질 수 있다. 예를 들어 제1 이차원 물질층(120)이 그래핀으로 이루어진 경우에는 인 전구체막(130')과 제1 이차원 물질층(120) 사이에 형성되는 반데르 발스 압력은 대략 1.0 GPa 정도가 될 수 있다.
- [0082] 이와 같이, 매우 큰 반데르 발스 압력이 인 전구체막(130')에 가해진 상태에서는 상압과 같은 비교적 낮은 압력에서도 인 전구체막(130')에 레이저 빔을 조사함으로써 인 전구체 물질을 자린 또는 흑린으로 상전이시킬 수 있다. 여기서, 인 전구체막(130')에 조사되는 레이저 빔의 파워를 조절함으로써 자린, 흑린 또는 자린과 흑린의 합성물(composite)을 형성할 수 있다. 이에 따라, 기판(110)과 제1 이차원 물질층(120) 사이에는 자린 및/또는 흑린을 포함하는 제2 이차원 물질층(130)이 형성될 수 있다.
- [0083] 인 전구체막(130') 위에 형성된 제1 이차원 물질층(120)은 전술한 바와 같이 인 전구체막(130')에 반데르 발스 압력을 가할 수 있으며, 자린 또는 흑린이 형성되는 과정에서는 흑린 또는 자린의 결정화를 향상시키는 역할도 할 수 있다. 또한, 제1 이차원 물질층(120)은 제2 이차원 물질층(130)을 덮도록 형성되어 있으므로 자린 또는 흑린이 산화되는 것도 방지할 수 있다.
- [0084] 인 전구체막(130')의 소정 영역(130a, 예를 들면, 가운데 영역)에만 레이저 빔이 조사되어 제2 이차원 물질층(130)이 형성될 수 있으며, 레이저 빔이 조사되지 않은 다른 영역(예를 들면, 양측 영역)에는 인 전구체막(130')이 그대로 남아 있을 수 있다.
- [0085] 도 7을 참조하면, 도 6에 도시된 구조물에 후속 열처리 공정을 수행한다. 여기서, 후속 열처리 공정은 대략 400℃ ~ 700℃의 온도에서 수행될 수 있다. 구체적인 예로서, 열처리 공정은 대략 400℃ ~ 500℃의 온도에서 수행될 수 있다.
- [0086] 이와 같은 후속 열처리 공정에 의해 도 8에 도시된 바와 같이, 제2 이차원 물질층(130)의 양측에 남아 있는 인 전구체막(130')은 제거될 수 있다. 이에 따라, 제1 이차원 물질층(120)의 양측은 기판에 접촉하도록 마련될 수 있다. 여기서, 제1 이차원 물질층(120)의 양측은 반데르 발스 힘에 의해 기판(110)에 결합될 수 있다. 또한, 후속 열처리 공정에 의해 제2 이차원 물질층(130)에 포함된 자린 또는 흑린의 결정성이 향상될 수 있으며, 자린의 적어도 일부가 흑린으로 상전이될 수도 있다. 전술한 레이저 빔의 파워와, 후속 열처리 공정의 온도 및 시간을 조절함으로써 제2 이차원 물질층(130)은 자린, 흑린 또는 자린과 흑린의 합성물을 포함할 수 있다.
- [0087] 도 9는 인 전구체막에서 레이저 빔이 조사된 영역과 레이저 빔이 조사되지 않은 영역에서 측정된 라만 스펙트럼들을 도시한 것이다. 도 9에서 "A"는 인 전구체막 중 레이저 빔의 조사된 영역의 라만 스펙트럼을 나타낸 것이며, "B"는 인 전구체 막 중 레이저 빔의 조사되지 않은 영역의 라만 스펙트럼을 나타낸 것이다. 여기서, 인 전구체 물질로는 적린을 사용하였다. 그리고, 레이저 빔의 파장, 파워 및 조사 시간은 각각 532nm, 1mW 및 30초였다.
- [0088] 도 9를 참조하면, 적린으로 이루어진 인 전구체막에 레이저 빔이 조사된 영역에서는 자린이 형성되었으나, 레이저 빔이 조사되지 않은 영역에서는 적린으로 그대로 남아 있는 것이 관찰되었다. 이로부터 적린으로 이루어진 인 전구체막에 레이저 빔이 조사된 영역에서는 레이저 빔의 조사에 의해 적린으로부터 자린이 합성되는 것을 알 수 있다.
- [0089] 도 10은 인 전구체막에서 조사되는 레이저 빔의 출력에 따른 라만 스펙트럼들을 도시한 것이다. 도 10에는 레이저 빔의 출력은 1mW, 5mW, 10mW, 15mW 및 20mW로 변화시켜 가면서 측정한 결과들이 도시되어 있다. 여기서, 인 전구체 물질로는 적린을 사용하였다. 그리고, 레이저 빔의 파장 및 조사 시간은 각각 532nm 및 60초 이었다.
- [0090] 도 10을 참조하면, 적린으로 이루어진 인 전구체막에 조사되는 레이저 빔의 출력이 1mW에서 20mW까지 증가함에 따라 자린이 점점 많이 형성되고, 또한 자린의 결정성도 점점 향상되는 것을 알 수 있다.
- [0091] 도 11은 레이저 빔의 조사 후, 후속 열처리 공정의 온도에 따른 적린의 스펙트럼들을 도시한 것이다. 도 11에는 후속 열처리 공정을 350℃, 400℃, 450℃ 및 500℃에서 진행한 결과들이 도시되어 있다. 여기서, 후속 열처리 공정은 Ar 분위기에서 10분간 진행하였다. 도 11을 참조하면, 후속 열처리 공정의 온도가 증가함에 따라 적린이 점점 감소하며, 450℃ 이상의 온도에서는 제거되는 것을 알 수 있다.
- [0092] 도 12는 레이저 빔의 조사 후, 후속 열처리 공정의 온도에 따른 자린의 스펙트럼들을 도시한 것이다. 도 12에는 후속 열처리 공정을 350℃, 400℃, 450℃ 및 500℃에서 진행한 결과들이 도시되어 있다. 여기서, 후속 열처리 공정은 Ar 분위기에서 10분간 진행하였다. 도 12를 참조하면, 후속 열처리 공정의 온도가 증가함에 따라 자

린의 결정성이 향상되었음을 알 수 있다.

- [0093] 도 13은 레이저 빔의 조사 후, 후속 열처리 공정에 의해 형성된 이중 이차원 물질의 복합체의 단면을 찍은 TEM 사진이다. 도 13에는 450℃에서 후속 열처리 공정을 수행한 결과가 도시되어 있다. 여기서, 기관으로는 SiO₂ 기판을 사용하였으며, 제1 이차원 물질층으로 그래핀을 사용하였다. 도 13을 참조하면, 제2 이차원 물질층을 구성하는 자린이 450℃의 후속 열처리 공정에 의해 그 상부의 그래핀에 나란한 방향으로 결정화되었음을 알 수 있다.
- [0094] 이상에서 살펴본 바와 같이, 인 전구체막에 조사되는 레이저 빔의 파워, 후속 열처리 공정의 온도 및 시간 등을 조절함으로써 인 전구체막으로부터 자린, 흑린 또는 자린과 흑린의 합성물을 형성할 수 있다.
- [0096] 이상에서 설명된 이중 이차원 물질의 복합체는 예를 들면, 전계효과 트랜지스터(FET: Field Effect Transistor) 또는 포토디텍터(photodetector) 등과 같은 다양한 전자 소자에 적용될 수 있다.
- [0097] 도 14는 예시적인 실시예에 따른 전자 소자(300, 구체적으로, 전계효과 트랜지스터)를 도시한 단면도이다.
- [0098] 도 14를 참조하면, 전자 소자(300)는 이중 이차원 물질의 복합체와, 이중 이차원 물질의 복합체 양측에 각각 마련되는 제1 및 제2 전극(341,342)과, 이중 이차원 물질의 복합체의 상부에 마련되는 제3 전극(350)을 포함한다.
- [0099] 이중 이차원 물질의 복합체는 기관(310)과, 이 기관(310)에 마련되는 제1 이차원 물질층(320)과, 기관(310)과 제1 이차원 물질층(320) 사이에 마련되는 제2 이차원 물질층(330)을 포함한다. 기관(310)으로는 절연성 물질을 포함할 수 있다.
- [0100] 제1 이차원 물질층(320)은 제2 이차원 물질층(300)과는 다른 이중의 이차원 물질을 포함할 수 있다. 제1 이차원 물질층(320)은 단층 구조 또는 다층 구조를 가질 수 있다. 제1 이차원 물질층(320)은 예를 들면, 대략 10nm 이하의 두께를 가질 수 있다. 제1 이차원 물질층(320)은 예를 들면, 절연성 이차원 물질인 h-BN을 포함할 수 있다.
- [0101] 제2 이차원 물질층(330)은 인(P) 원자들이 평면적으로 공유결합된 이차원 결정 구조를 가지는 이차원 물질을 포함할 수 있다. 구체적으로, 제2 이차원 물질층(330)은 자린 및 흑린 중 적어도 하나를 포함할 수 있다. 제2 이차원 물질층(330)은 단층 구조 또는 다층 구조를 가질 수 있다. 제2 이차원 물질층(330)은 대략 10nm 이하의 두께를 가질 수 있다.
- [0102] 제2 이차원 물질층(330)은 반데르발스 힘에 의해 기관(310)에 결합되도록 마련될 수 있다. 또한, 제2 이차원 물질층(330)은 그 위에 있는 제1 이차원 물질층(320)과 반데르발스 힘에 의해 서로 결합되도록 마련될 수 있다.
- [0103] 제1 및 제2 전극(341,342)은 이중 이차원 물질의 복합체의 양측에 마련되어 있다. 제1 및 제2 전극(341,342)은 제2 이차원 물질층(330)의 양단부와 에지 컨택(edge contact)을 형성하도록 마련될 수 있다.
- [0104] 제1 및 제2 전극(341,342)은 우수한 도전성을 가지는 물질을 포함할 수 있다. 제1 및 제2 전극(341,342)은 각각 소스 전극(source electrode) 및 드레인 전극(drain electrode)이 될 수 있다. 소스 전극인 제1 전극(341)과 드레인 전극인 제2 전극(342) 사이에 마련된 제2 이차원 물질층(330)은 채널의 역할을 수행할 수 있다.
- [0105] 제1 및 제2 전극(341,342) 사이에서 제1 이차원 물질층(320)의 상부에는 제3 전극(350)이 마련될 수 있다. 제3 전극(350)은 게이트 전극이 될 수 있다. 그리고, 제1 이차원 물질층(320)과 제3 전극(350) 사이에는 절연층(355)이 마련될 수 있다. 절연층(355)은 게이트 절연층이 될 수 있다.
- [0106] 도 15는 다른 예시적인 실시예에 따른 전자 소자(400, 구체적으로, 전계효과 트랜지스터)를 도시한 단면도이다.
- [0107] 도 15를 참조하면, 전자 소자(400)는 이중 이차원 물질의 복합체와, 이중 이차원 물질의 양측에 각각 마련되는 제1 및 제2 전극(341,342)과, 이중 이차원 물질의 상부에 마련되는 제3 전극(350)을 포함한다.
- [0108] 이중 이차원 물질의 복합체는 기관(410)과, 이 기관(410)에 마련되는 제1 이차원 물질층(420)과, 기관(410)과 제1 이차원 물질층(420) 사이에 마련되는 제2 이차원 물질층(430)을 포함한다. 기관(410)으로는 절연성 물질을 포함하는 기관이 사용될 수 있다. 제2 이차원 물질층(430)은 자린 및 흑린 중 적어도 하나를 포함할 수 있다.
- [0109] 제2 이차원 물질층(430)의 상면에 마련되는 제1 이차원 물질층(420)은 플루오린화 그래핀(fluorinated graphene, 420b)과 이 플루오르화 그래핀(420b)의 양측 각각에 마련된 그래핀(420a)을 포함할 수 있다. 여기서,

플루오르화 그래핀(420b)은 절연성 물질로서, 예를 들면 XeF_2 , SF_6 등을 이용하여 그래핀(420a)을 플루오르화(fluorination) 시킴으로써 형성될 수 있다.

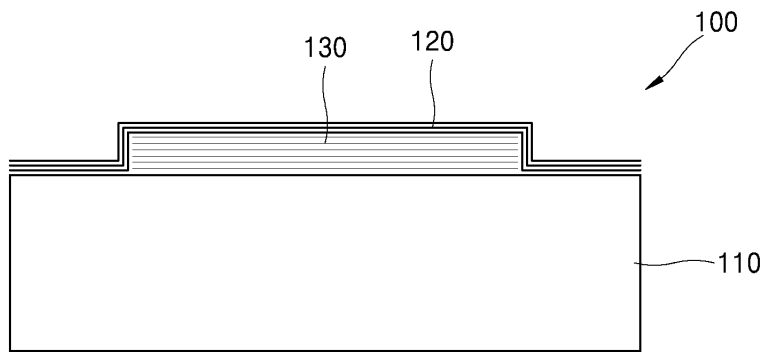
- [0110] 제1 및 제2 전극(341,342)은 이중 이차원 물질의 복합체의 양측에 마련되어 있다. 제1 및 제2 전극(341,342)은 이중 이차원 물질의 복합체와 평면 컨택(planar contact)을 형성하도록 마련될 수 있다. 구체적으로, 제1 및 제2 전극(341,342)은 제1 이차원 물질층(420) 중 플루오린화 그래핀(420b)의 양측 각각에 마련된 그래핀(420a)과 접촉하도록 형성될 수 있다.
- [0111] 제1 및 제2 전극(341,342)은 각각 소스 전극 및 드레인 전극이 될 수 있다. 제2 이차원 물질층(430)은 채널의 역할을 수행할 수 있다. 제1 및 제2 전극(341,342) 사이에서 제1 이차원 물질층(420)의 상부에는 제3 전극(350)이 마련될 수 있으며, 제1 이차원 물질층(420)과 제3 전극(350) 사이에는 절연층(355)이 마련될 수 있다. 제3 전극(350)은 게이트 전극이 될 수 있으며, 절연층(355)은 게이트 절연층이 될 수 있다.
- [0112] 도 16은 다른 예시적인 실시예에 따른 전자 소자(500, 구체적으로, 전계효과 트랜지스터)를 도시한 단면도이다.
- [0113] 도 16을 참조하면, 전자 소자(600)는 이중 이차원 물질의 복합체와, 이중 이차원 물질의 양측에 각각 마련되는 제1 및 제2 전극(341,342)과, 이중 이차원 물질의 상부에 마련되는 제3 전극(350)을 포함한다.
- [0114] 이중 이차원 물질의 복합체는 기판(410)과, 이 기판(410)에 마련되는 제1 이차원 물질층(520)과, 기판(410)과 제1 이차원 물질층(520) 사이에 마련되는 제2 이차원 물질층(530)을 포함한다. 기판(410)으로는 절연성 물질을 포함하는 기판이 사용될 수 있다. 제2 이차원 물질층(530)은 자린 및 흑린 중 적어도 하나를 포함할 수 있다. 제1 이차원 물질층(620)은 h-BN 과 같은 절연성의 이차원 물질을 포함할 수 있다.
- [0115] 제1 및 제2 전극(341,342)은 이중 이차원 물질의 복합체의 양측에 마련되어 있다. 제1 및 제2 전극(341,342)은 이중 이차원 물질의 복합체와 평면 컨택(planar contact)을 형성하도록 마련될 수 있다. 구체적으로, 제1 및 제2 전극(341,342)은 제1 이차원 물질층(520)의 양측 상면에 각각 접촉하도록 마련될 수 있다. 제1 및 제2 전극(341,342)은 각각 소스 전극 및 드레인 전극이 될 수 있다. 제2 이차원 물질층(530)은 채널의 역할을 수행할 수 있다. 이 경우, 제1 전극(341)과 제2 이차원 물질층(530) 사이 및 제2 전극(342)과 제2 이차원 물질층(530) 사이에는 터널링 효과(tunneling effect)에 의해 전하가 이동할 수 있다.
- [0116] 제1 및 제2 전극(341,342) 사이에 있는 제1 이차원 물질층(520)의 상부에는 제3 전극(350)이 마련될 수 있으며, 제1 이차원 물질층(520)과 제3 전극(350) 사이에는 절연층(355)이 마련될 수 있다. 제3 전극(350)은 게이트 전극이 될 수 있으며, 절연층(355)은 게이트 절연층이 될 수 있다. 이상에서 실시예가 설명되었으나, 이는 예시적인 것에 불과하며, 당해 분야에서 통상적 지식을 가진 자라면 이로부터 다양한 변형이 가능하다.

부호의 설명

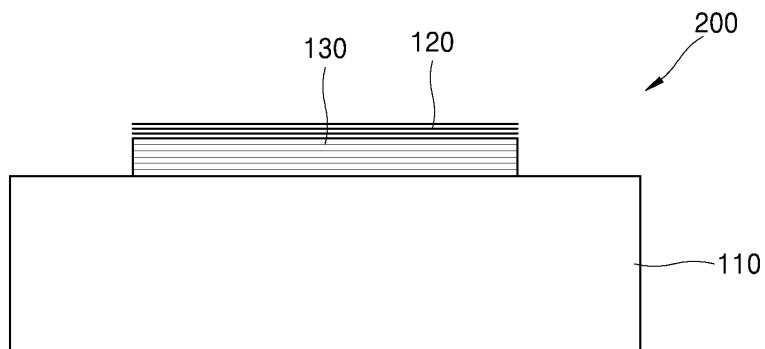
- [0117] 100,200.. 이중 이차원 물질의 복합체
- 110,310,410.. 기판
- 120,320,420,520.. 제1 이차원 물질층
- 130,330,430,530.. 제2 이차원 물질층
- 130'.. 인 전구체막
- 300,400,500.. 전자 소자
- 341.. 제1 전극
- 342.. 제2 전극
- 350.. 제3 전극
- 355.. 절연층
- 420a.. 그래핀
- 420b.. 플루오린화 그래핀

도면

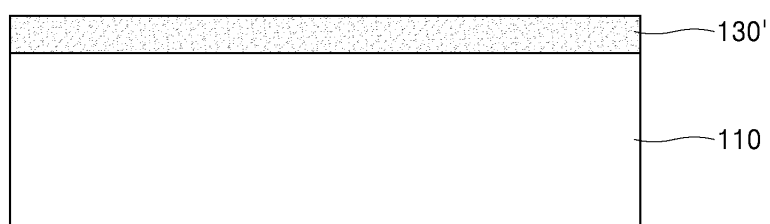
도면1



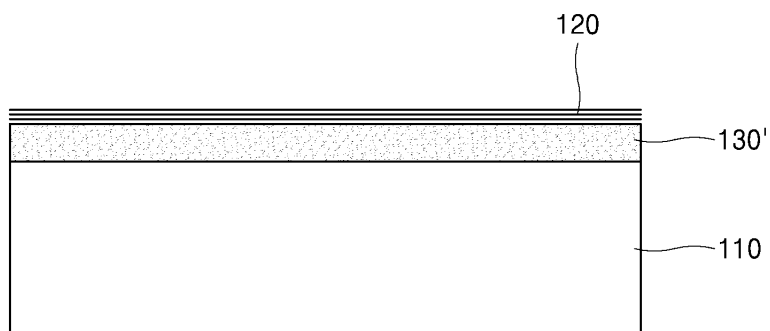
도면2



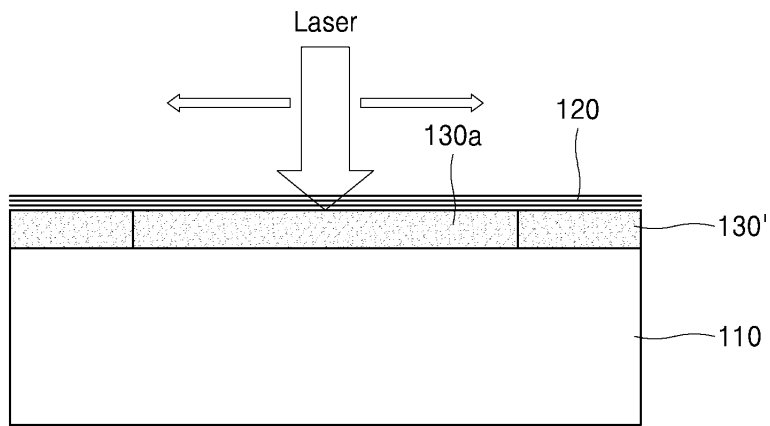
도면3



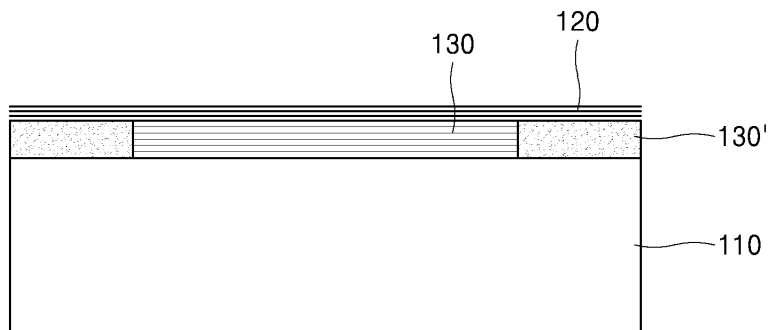
도면4



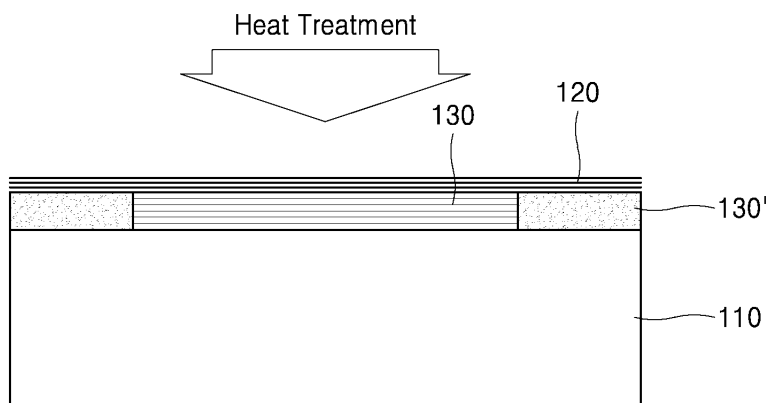
도면5



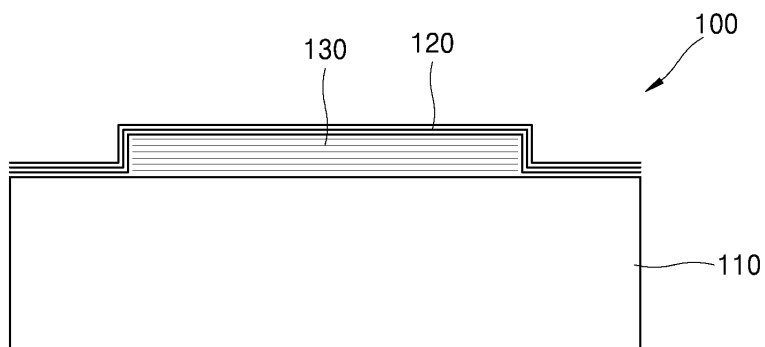
도면6



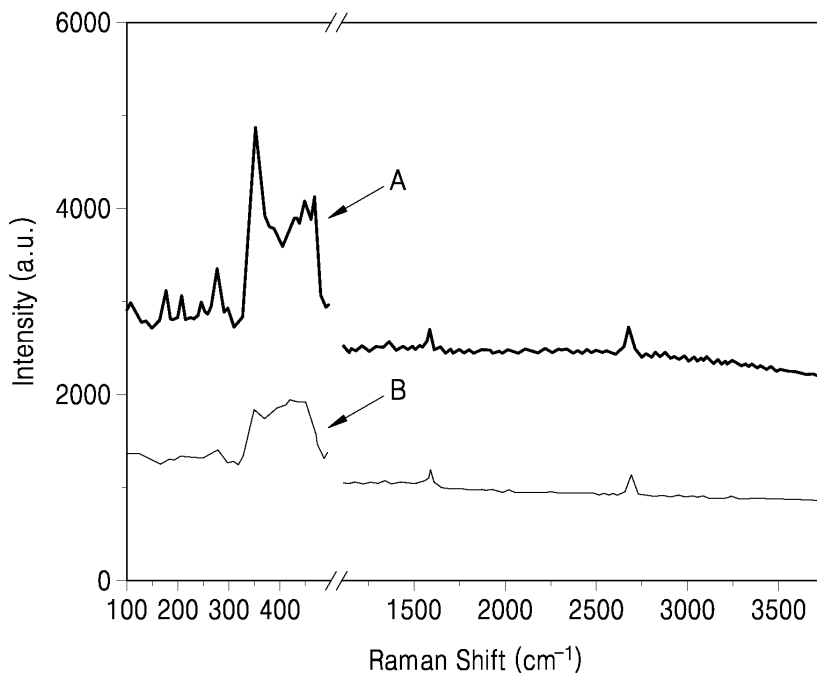
도면7



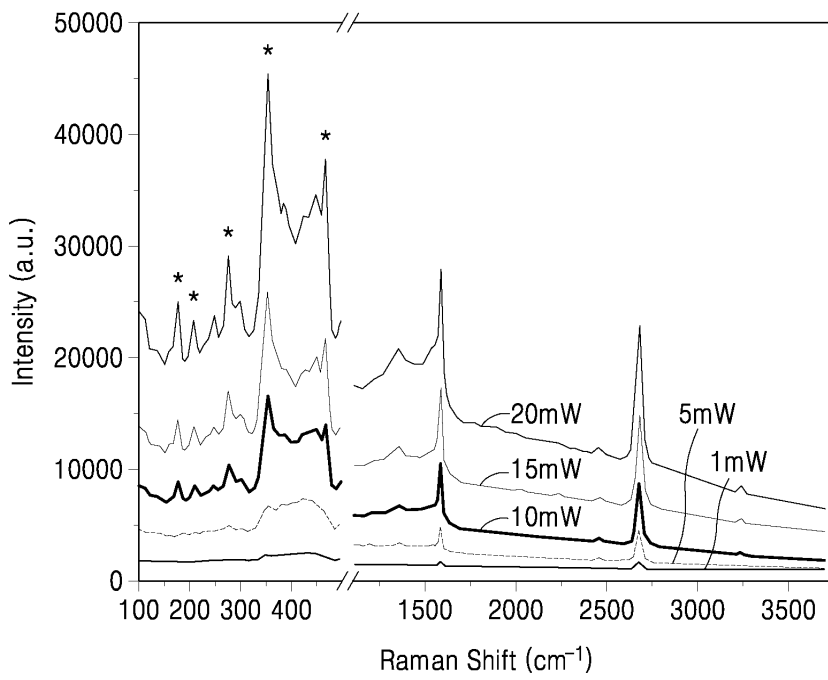
도면8



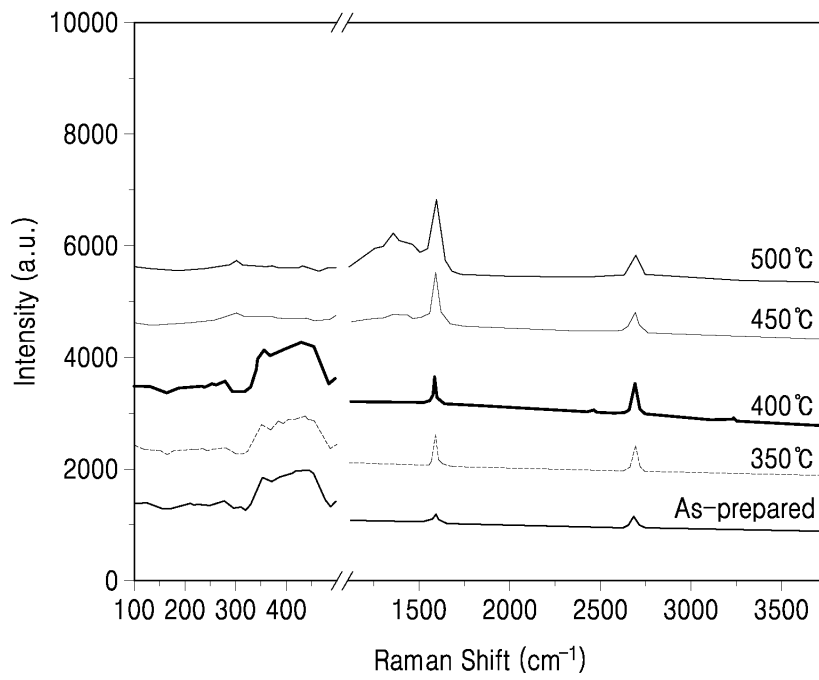
도면9



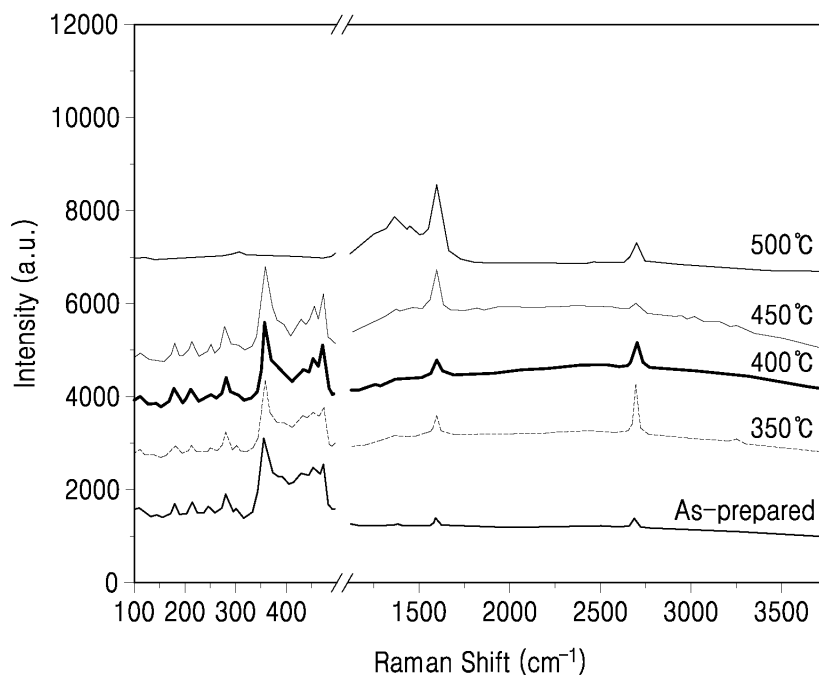
도면10



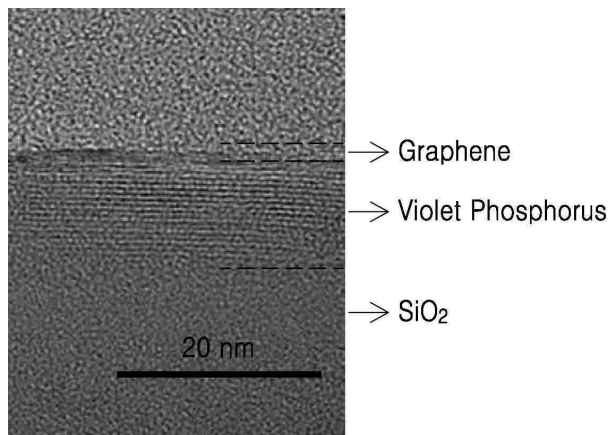
도면11



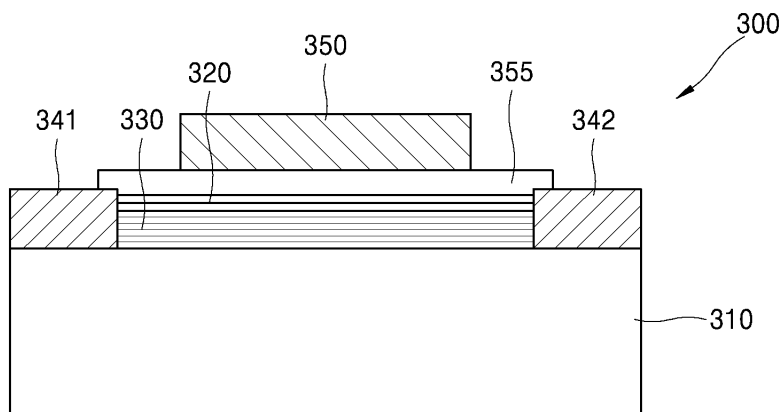
도면12



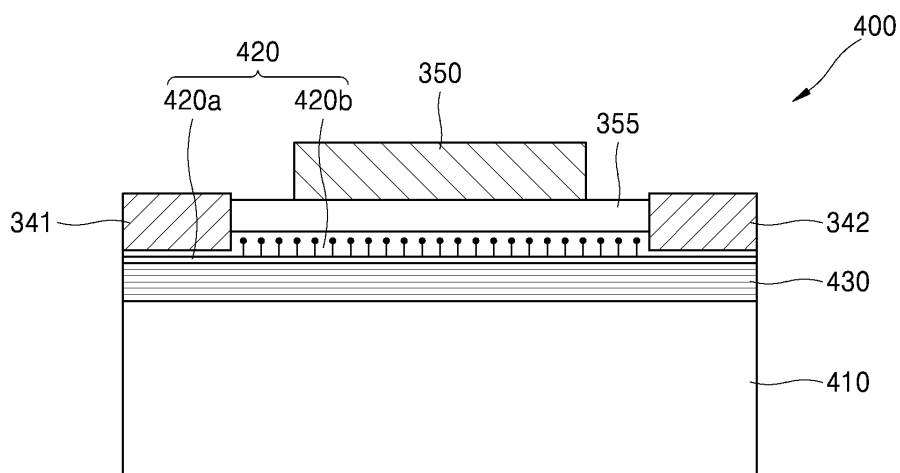
도면13



도면14



도면15



도면16

