(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2022-0130448
(43) 공개일자 2022년09월27일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
H01L 21/02 (2006.01) *H01L 29/417* (2006.01)
H01L 29/786 (2006.01) *H01L 29/872* (2006.01)
(52) CPC특허분류
H01L 21/02444 (2013.01)
H01L 21/0237 (2013.01)
(21) 출원번호 10-2021-0035348
(22) 출원일자 2021년03월18일
심사청구일자 없음

(71) 출원인
삼성전자주식회사
경기도 수원시 영통구 삼성로 129 (매탄동)
울산과학기술원
울산광역시 울주군 언양읍 유니스트길 50
(72) 발명자
이창석
경기도 수원시 영통구 덕영대로 1410, 114동 2203호 (망포동, 영통아이파크캐슬1단지)
권순용
울산광역시 울주군 언양읍 유니스트길 50 울산과학기술원 102동 501-6호
(뒷면에 계속)
(74) 대리인
리앤목특허법인

전체 청구항 수 : 총 20 항

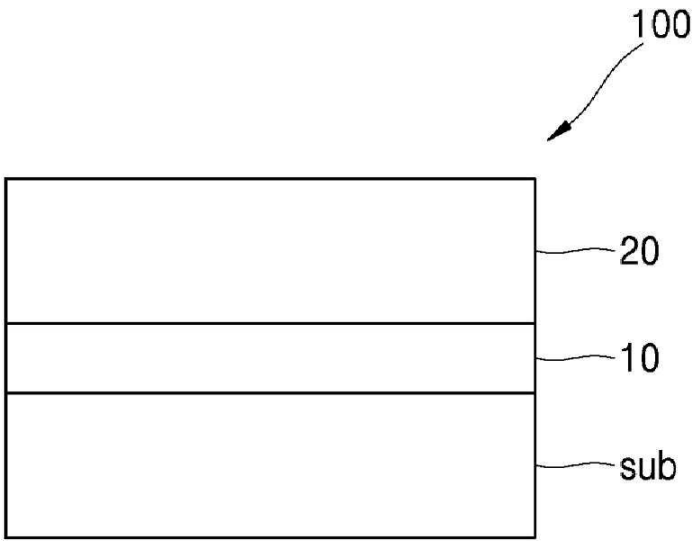
(54) 발명의 명칭 **박막 구조체, 이를 포함하는 반도체 소자 및 박막 구조체 제조 방법**

(57) 요 약

일 실시예는, 기판, 상기 기판 상에 마련되는 나노결정질 그래핀층 및 상기 나노결정질 그래핀층 상에 마련되는 이차원 물질층을 포함하는 박막 구조체를 제공한다.

상기 나노결정질 그래핀층은 상기 이차원 물질층의 핵생성 밀도가 $10^{9}ea/cm^{2}$ 이상이 되도록 하며, 이에 따라, 향상된 균일도를 가지는 이차원 물질층을 형성할 수 있고, 이차원 물질층의 형성 시간을 크게 단축시킬 수 있다.

대 표 도 - 도1



(52) CPC특허분류
H01L 21/02568 (2013.01)
H01L 21/0259 (2013.01)
H01L 21/0262 (2013.01)
H01L 21/02631 (2013.01)
H01L 29/41733 (2013.01)
H01L 29/78696 (2013.01)
H01L 29/872 (2013.01)
(72) 발명자
김정화
울산광역시 울주군 언양읍 유니스트길 50 울산과학기술원 102동 501-9호
손승우
울산광역시 울주군 언양읍 유니스트길 50 울산과학기술원 102동 511호
송승욱
울산광역시 울주군 언양읍 유니스트길 50 울산과학기술원 102동 506호
신현진
경기도 수원시 권선구 곡반정로 158, 212동 705호 (곡반정동, 수원하늘채더퍼스트2단지)
이종훈
울산광역시 울주군 언양읍 유니스트길 50 울산과학기술원 102동 501-5호
조연주
경기도 성남시 분당구 내정로 55, 308동 101호 (정자동, 상록마을)

명 세 서

청구범위

청구항 1

기판;

상기 기판 상에 마련되는 나노결정질 그래핀층; 및

상기 나노결정질 그래핀층 상에 마련되는 이차원 물질층; 을 포함하며,

상기 나노결정질 그래핀층은 상기 이차원 물질층의 핵생성 밀도가 $10^9 ea/cm^2$ 이상이 되도록 하는, 박막 구조체.

청구항 2

제1 항에 있어서,

상기 나노결정질 그래핀층의 그레인 크기는 1nm 내지 1000nm인, 박막 구조체.

청구항 3

제1 항에 있어서,

상기 이차원 물질층은 전이금속 디칼코게나이드(transition metal dichalcogenide; TMD)를 포함하는, 박막 구조체.

청구항 4

제3 항에 있어서,

상기 전이금속 디칼코게나이드는 화학식 MX_2로 표시되는 조성을 포함하고, 상기 M은 전이금속 원소이고, 상기 X는 칼코겐 원소인, 박막 구조체.

청구항 5

제1 항에 있어서,

상기 이차원 물질층은 h-BN, a-BN, MXene, Silicene, Stanene, Tellurene, Borophene, Antimonene, Bi_2Se_3, Bi_2O_2Se 중 적어도 어느 하나를 포함하는, 박막 구조체.

청구항 6

제1 항에 있어서,

상기 기판은 실리콘(Si), 이산화 규소(SiO_2), 산화알루미늄(Al_2O_3), 석영(Quartz), 게르마늄(Ge), 질화 갈륨(GaN), 질화 알루미늄(AlN), 갈륨 인(GaP), 인화 인듐(InP), 갈륨 비소(GaAs), 탄화 규소(SiC), 리튬 알루미늄 산화물($LiAlO_3$), 산화 마그네슘(MgO), 폴리에틸렌 나프탈레이트(poly ethylene naphthalate; PEN), 폴리에틸렌 테레프탈레이트(poly ethylene terephthalate; PET) 중 적어도 어느 하나를 포함하는, 박막 구조체.

청구항 7

나노결정질 그래핀층 및 상기 나노결정질 그래핀층 상에 마련되는 이차원 물질층을 포함하는 박막 구조체를 포함하며,

상기 나노결정질 그래핀층은 상기 이차원 물질층의 핵생성 밀도가 $10^9 ea/cm^2$ 이상이 되도록 하는, 반도체 소자.

청구항 8

제7 항에 있어서,

상기 나노결정질 그래핀층의 그레인 크기는 1nm 내지 1000nm인, 반도체 소자.

청구항 9

제7 항에 있어서,

상기 이차원 물질층은 전이금속 디칼코게나이드(TMD)를 포함하는, 반도체 소자.

청구항 10

제9 항에 있어서,

상기 전이금속 디칼코게나이드(TMD)는 화학식 MX_2로 표시되는 조성을 포함하고, 상기 M은 전이금속 원소이고, 상기 X는 칼코겐 원소인, 반도체 소자.

청구항 11

제7 항에 있어서,

상기 이차원 물질층과 이격된 게이트 전극; 및

상기 이차원 물질층과 상기 게이트 전극 사이에 마련된 게이트 절연층; 을 더 포함하는, 반도체 소자.

청구항 12

제11 항에 있어서,

상기 게이트 절연층은 실리콘 산화물, 실리콘 질화물, 산화알루미늄(Al_2O_3), 산화하프늄(HfO_2), 산화지르코늄(ZrO_2), 실리콘 산화 질화물(SiON), high-k 물질 중 적어도 어느 하나를 포함하는, 반도체 소자.

청구항 13

제11 항에 있어서,

상기 박막 구조체의 양단과 각각 전기적으로 연결되는 소스 전극 및 드레인 전극을 더 포함하는, 반도체 소자.

청구항 14

제13 항에 있어서,

상기 소스 전극 및 드레인 전극은, 금(Au), 은(Ag), 알루미늄(Al), 구리(Cu), 텅스텐(W,) 코발트(Co), 니켈(Ni), 티타늄(Ti), 탄탈럼(Ta), 질화 티타늄(TiN), 티타늄 알루미나이드(TiAl), 질화 티타늄 알루미나이드(TiAlN), 질화 탄탈럼(TaN) 중 적어도 어느 하나를 포함하는, 반도체 소자.

청구항 15

제7 항에 있어서,

상기 반도체 소자는 광전자 소자(optoelectronic device)인, 반도체 소자.

청구항 16

제7 항에 있어서,

상기 이차원 물질층 상에 마련되는 도전층을 더 포함하는, 반도체 소자.

청구항 17

반응 챔버 내에 구비된 기판 상에 나노결정질 그래핀층을 형성하는 단계; 및

상기 나노결정질 그래핀층 상에 이차원 물질층을 형성하는 단계; 를 포함하며,

상기 나노결정질 그래핀층은 상기 이차원 물질층의 핵생성 밀도가 $10^9 ea/cm^2$ 이상이 되도록 하는, 박막 구조체 제조 방법.

청구항 18

제17 항에 있어서,

상기 이차원 물질층을 형성하는 단계는,

전이금속 디칼코게나이드(TMD)의 2종 이상의 전구체를 상기 반응 챔버에 공급하여 상기 이차원 물질층을 형성하는, 박막 구조체 제조 방법.

청구항 19

제18 항에 있어서,

상기 전구체를 상기 반응 챔버에 공급하는 시간은 5분 이상 30분 이하인, 박막 구조체 제조 방법.

청구항 20

제17 항에 있어서,

상기 이차원 물질층을 형성하는 단계는,

화학 기상 증착(chemical vapor deposition; CVD) 공정, 물리 기상 증착(physical vapor deposition; PVD) 공정, 원자층 증착(atomic layer depositionl ALD) 공정 또는 이들 중 적어도 두 개의 조합을 이용하여 수행하는, 박막 구조체 제조 방법.

발명의 설명

기 술 분 야

[0001] 본 개시의 예시적인 실시예는 박막 구조체, 이를 포함하는 반도체 소자 및 박막 구조체 제조 방법에 관한 것이다.

배 경 기 술

[0002] 그래핀(graphene)은 기계적, 열적, 전기적 특성이 우수한 대표적인 이차원 물질이다. 그러나, 그래핀은 에너지 밴드갭(energy bandgap)의 부재로 인해, 전자소자 및 광학 소자로의 응용에 근본적인 한계가 있다.

[0003] 그래핀을 대체할 수 있는 이차원 물질로 전이금속 디칼코게나이드(Transition Metal Dichalcogenide, TMD)가 최근 제안되고 있다. 전이금속 디칼코게나이드는 일반적으로 MX_2의 화학식으로 표현된다. 이때, M은 Mo, W, Ti와 같은 전이금속 원소이고, X는 S, Se, Te와 같은 칼코겐(chalcogens) 원소이다.

[0004] 전이금속 디칼코게나이드는 원리적으로 구성 원자들과 이차원적인 상호작용만 한다. 따라서, 전이금속 디칼코게나이드에서 캐리어들의 수송은 통상적인 박막이나 벌크와는 전혀 다르게, 탄도 수송 양상을 나타내며, 이로부터 고이동도, 고속, 저전력 특성 구현이 가능하다. 더불어, 전이금속 디칼코게나이드의 두께는 원자 수 층의 두께로 매우 얇기 때문에 유연하고 투명한 특성을 가지며, 전기적으로는 반도체, 도체 등의 다양한 성질을 보인다.

[0005] 특히, 반도체 성질의 전이금속 디칼코게나이드의 경우 적절한 밴드갭(band gap)을 가지면서 수백 ㎠/V·s의 전자 이동도를 보이므로 트랜지스터 등의 반도체 소자의 응용에 적합하고 향후 유연 트랜지스터 소자에 큰 잠재력을 가지고 있다.

[0006] 이러한 전이금속 디칼코게나이드 나노 박막을 제조하는 방법은 최근에 활발히 연구되어 왔다. 이와 같은 전이금속 디칼코게나이드 박막이 위와 같은 소자로서 적용되기 위하여, 예컨대, 박막을 대면적으로 균일하게 그리고 연속적으로 합성할 수 있는 방법 등이 연구되어 왔다.

발명의 내용

해결하려는 과제

[0007] 본 개시의 다양한 실시예에 따라, 이차원 물질층의 핵생성 밀도를 높인 구조의 박막 구조체, 이를 포함하는 반도체 소자 및 박막 구조체 제조 방법을 제공하고자 한다.

과제의 해결 수단

[0008] 일 실시예는,

[0009] 기판, 상기 기판 상에 마련되는 나노결정질 그래핀층 및 상기 나노결정질 그래핀층 상에 마련되는 이차원 물질층을 포함하는 박막 구조체를 제공한다.

[0010] 상기 나노결정질 그래핀층은 상기 이차원 물질층의 핵생성 밀도가 $10^9 ea/cm^2$ 이상이 되도록 할 수 있다.

[0011] 상기 나노결정질 그래핀층의 그레인 크기는 1nm 내지 1000nm일 수 있다.

[0012] 상기 이차원 물질층은 전이금속 디칼코게나이드(transition metal dichalcogenide; TMD)를 포함할 수 있다.

[0013] 상기 전이금속 디칼코게나이드는 화학식 MX_2로 표시되는 조성을 포함하고, 상기 M은 전이금속 원소이고, 상기 X는 칼코겐 원소일 수 있다.

[0014] 상기 이차원 물질층은 h-BN, a-BN, MXene, Silicene, Stanene, Tellurene, Borophene, Antimonene, Bi_2Se_3, Bi_2O_2Se 중 적어도 어느 하나를 포함할 수 있다.

[0015] 상기 기판은 실리콘(Si), 이산화 규소(SiO2), 산화알루미늄(Al_2O_3), 석영(Quartz), 게르마늄(Ge), 질화 갈륨(GaN), 질화 알루미늄(AlN), 갈륨 인(GaP), 인화 인듐(InP), 갈륨 비소(GaAs), 탄화 규소(SiC), 리튬 알루미늄 산화물($LiAlO_3$), 산화 마그네슘(MgO), 폴리에틸렌 나프탈레이트(poly ethylene naphthalate; PEN), 폴리에틸렌 테레프탈레이트(poly ethylene terephthalate; PET) 중 적어도 어느 하나를 포함할 수 있다.

[0016] 일 실시예는,

[0017] 나노결정질 그래핀층 및 상기 나노결정질 그래핀층 상에 마련되는 이차원 물질층을 포함하는 박막 구조체를 포함하는 반도체 소자를 제공한다.

[0018] 상기 나노결정질 그래핀층은 상기 이차원 물질층의 핵생성 밀도가 $10^9 ea/cm^2$ 이상이 되도록 할 수 있다.

[0019] 상기 나노결정질 그래핀층의 그레인 크기는 1nm 내지 1000nm일 수 있다.

[0020] 상기 이차원 물질층은 전이금속 디칼코게나이드(TMD)를 포함할 수 있다.

[0021] 상기 전이금속 디칼코게나이드(TMD)는 화학식 MX_2로 표시되는 조성을 포함하고, 상기 M은 전이금속 원소이고, 상기 X는 칼코겐 원소일 수 있다.

[0022] 상기 반도체 소자는, 상기 이차원 물질층과 이격된 게이트 전극 및 상기 이차원 물질층과 상기 게이트 전극 사이에 마련된 게이트 절연층을 더 포함할 수 있다.

[0023] 상기 게이트 절연층은 실리콘 산화물, 실리콘 질화물, 산화알루미늄(Al_2O_3), 산화하프늄(HfO_2), 산화지르코늄(ZrO_2), 실리콘 산화 질화물(SiON), high-k 물질 중 적어도 어느 하나를 포함할 수 있다.

[0024] 상기 반도체 소자는, 상기 박막 구조체의 양단과 각각 전기적으로 연결되는 소스 전극 및 드레인 전극을 더 포함할 수 있다.

[0025] 상기 소스 전극 및 드레인 전극은, 금(Au), 은(Ag), 알루미늄(Al), 구리(Cu), 텅스텐(W,) 코발트(Co), 니켈(Ni), 티타늄(Ti), 탄탈럼(Ta), 질화 티타늄(TiN), 티타늄 알루미나이드(TiAl), 질화 티타늄 알루미나이드(TiAlN), 질화 탄탈럼(TaN) 중 적어도 어느 하나를 포함할 수 있다.

[0026] 상기 반도체 소자는 광전자 소자(optoelectronic device)일 수 있다.

[0027] 상기 이차원 물질층 상에 마련되는 도전층을 더 포함할 수 있다.

[0028] 일 실시예는,

[0029] 반응 챔버 내에 구비된 기판 상에 나노결정질 그래핀층을 형성하는 단계 및

[0030] 상기 나노결정질 그래핀층 상에 이차원 물질층을 형성하는 단계를 포함하는 박막 구조체 제조 방법을 제공한다.

[0031] 상기 나노결정질 그래핀층은 상기 이차원 물질층의 핵생성 밀도가 $10^9 ea/cm^2$ 이상이 되도록 할 수 있다.

[0032] 상기 이차원 물질층을 형성하는 단계는,

[0033] 전이금속 디칼코게나이드(TMD)의 2종 이상의 전구체를 상기 반응 챔버에 공급하여 상기 이차원 물질층을 형성할 수 있다.

[0034] 상기 전구체를 상기 반응 챔버에 공급하는 시간은 5분 이상 30분 이하일 수 있다.

[0035] 상기 이차원 물질층을 형성하는 단계는,

[0036] 화학 기상 증착(chemical vapor deposition; CVD) 공정, 물리 기상 증착(physical vapor deposition; PVD) 공정, 원자층 증착(atomic layer depositionl ALD) 공정 또는 이들 중 적어도 두 개의 조합을 이용하여 수행할 수 있다.

발명의 효과

[0037] 본 개시의 다양한 실시예에 따라, 이차원 물질층의 핵생성 밀도를 높인 구조의 박막 구조체, 이를 포함하는 반도체 소자 및 박막 구조체 제조 방법을 제공할 수 있다.

[0038] 본 개시의 다양한 실시예에 따라, 나노결정질 그래핀층 상에 이차원 물질층을 형성할 수 있다. 나노결정질 그래핀층 상에 이차원 물질층이 형성되는 과정에서, 이차원 물질층의 핵생성 밀도가 $10^9 ea/cm^2$ 이상으로 나타날 수 있으며, 이에 따라, 이차원 물질층의 균일도가 증가하고 제조 시간이 크게 단축될 수 있다.

도면의 간단한 설명

[0039] 도 1은 일 실시예에 따른 박막 구조체의 예시적인 구조를 간략하게 도시한 것이다.

도 2는 일 실시예에 따른 박막 구조체 제조 방법을 설명하기 위한 흐름도이다.

도 3은 일 실시예에 따른 박막 구조체 제조 방법에 따라 기판 상에 나노결정질 그래핀층을 형성한 모습을 간략하게 도시한 것이다.

도 4는 일 실시예에 따른 박막 구조체 제조 방법에 따라 나노결정질 그래핀층 상에 이차원 물질층의 결정핵이 형성된 모습을 설명하기 위한 것이다.

도 5는 일 실시예에 따른 박막 구조체 제조 방법에 따라 나노결정질 그래핀층 상에 형성된 이차원 물질층의 핵생성 밀도를 설명하기 위한 사진이다.

도 6은 일 실시예에 따른 박막 구조체 제조 방법에 따라 제조된 박막 구조체의 예시적인 구조를 간략하게 도시한 것이다.

도 7은 일 실시예에 따른 반도체 소자의 예시적인 구조를 간략하게 도시한 것이다.

도 8은 다른 일 실시예에 따른 반도체 소자의 예시적인 구조를 간략하게 도시한 것이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0040] 아래에서는 첨부한 도면을 참조하여 박막 구조체, 이를 포함하는 반도체 소자 및 박막 구조체 제조 방법에 속하는 기술 분야에서의 통상의 지식을 가진 자가 용이하게 실시할 수 있도록 박막 구조체, 이를 포함하는 반도체 소자 및 박막 구조체 제조 방법의 실시예를 상세히 설명한다. 도면에서 동일한 참조 부호는 동일한 구성 요소를 지칭하며, 도면 상에서 각 구성 요소의 크기나 두께는 설명의 명료성을 위하여 과장되어 있을 수 있다.

[0041] 한편, 이하에서 설명되는 박막 구조체, 이를 포함하는 반도체 소자 및 박막 구조체 제조 방법의 다양한 실시예는 예시적인 것으로서, 박막 구조체, 이를 포함하는 반도체 소자 및 박막 구조체 제조 방법은 여러 가지 상이한 형태로 구현될 수 있으며 여기에서 설명하는 실시예에 한정되지 않는다.

[0042] 이하에서, "상부" 나 "상"이라고 기재된 것은 접촉하여 바로 위에 있는 것뿐만 아니라 비접촉으로 위에 있는 것

도 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.

[0043] "상기"의 용어 및 이와 유사한 지시 용어의 사용은 단수 및 복수 모두에 해당하는 것일 수 있다. 모든 예들 또는 예시적인 용어의 사용은 단순히 기술적 사상을 상세히 설명하기 위한 것으로서 청구범위에 의해 한정되지 않는 이상 상기 예들 또는 예시적인 용어로 인해 범위가 한정되는 것은 아니다.

[0044] 제1, 제2 등의 용어는 다양한 구성요소들을 설명하는데 사용될 수 있지만, 구성 요소들은 용어들에 의해 한정되어서는 안 된다. 용어들은 하나의 구성 요소를 다른 구성 요소로부터 구별하는 목적으로만 사용된다.

[0045] 도 1은 일 실시예에 따른 박막 구조체(100)의 예시적인 구조를 간략하게 도시한 것이다.

[0046] 도 1을 참조하면, 박막 구조체(100)는 기판(sub), 기판(sub) 상에 마련되는 나노결정질 그래핀층(nanocrystalline graphene layer; nc-G, 10) 및 나노결정질 그래핀층(10) 상에 마련되는 이차원 물질층(20)을 포함할 수 있다.

[0047] 이차원 물질층(20)을 나노결정질 그래핀층(10)이 아닌 실리콘 등을 포함하는 기판(sub) 상에 직접 형성하는 경우, 이차원 물질층(20)의 핵생성 밀도 및 균일도를 제어하기 어려울 수 있다. 예를 들어, 이차원 물질층(20)을 반응 챔버 내에 마련된 기판(sub) 상에 형성하는 과정에서, 이차원 물질층(20)에 포함되는 물질의 전구체를 이용할 수 있다. 이 경우, 전구체가 기판(sub) 상에 증착되는 과정에서 기판(sub) 상에 이차원 물질층(20)의 결정핵이 형성될 수 있다. 기판(sub) 상에 형성되는 이차원 물질층(20)의 결정핵의 핵생성 밀도는 기판(sub)의 상태에 따라 다르게 나타날 수 있다. 핵생성 밀도가 충분히 높지 못하면, 이차원 물질층(20)의 균일도가 낮아지게 되고, 이차원 물질층(20)을 형성하는 데에 소요되는 시간이 증가하게 된다. 이차원 물질층(20)의 핵생성 밀도를 충분히 높게 하기 위해서는 적절한 그레인 크기를 가지는 기판(sub)을 선택해야 하고, 이에 따라 이차원 물질층(20)이 형성되는 기판(sub)을 선택함에 있어서 제약이 따를 수 있다.

[0048] 본 개시의 일 실시예에 따른 박막 구조체(100)는 이차원 물질층(20)을 기판(sub) 상에 직접 형성하지 않고, 나노결정질 그래핀층(10) 상에 형성함으로써 개선된 균일도를 가지는 이차원 물질층(20)을 포함할 수 있다.

[0049] 기판(sub) 다양한 종류의 물질을 포함할 일 수 있다. 예를 들어, 기판(sub)은 실리콘(Si), 이산화 규소(SiO_2), 산화알루미늄(Al_2O_3), 석영(Quartz), 게르마늄(Ge), 질화 갈륨(GaN), 질화 알루미늄(AlN), 갈륨 인(GaP), 인화 인듐(InP), 갈륨 비소(GaAs), 탄화 규소(SiC), 리튬 알루미늄 산화물($LiAlO_3$), 산화 마그네슘(MgO), 폴리에틸렌 나프탈레이트(poly ethylene naphthalate; PEN), 폴리에틸렌 테레프탈레이트(poly ethylene terephthalate; PET) 중 적어도 어느 하나를 포함할 수 있다. 그러나 이에 한정되는 것은 아니며, 기판(sub)은 필요에 따라 적절한 물질을 포함할 수 있다. 예를 들어, 기판(sub)은 유리, 그래핀, 금속 호일, 사파이어(Sapphire), 이황화몰리브덴(MoS_2) 등을 포함할 수도 있다.

[0050] 나노결정질 그래핀층(10)은 기판(sub)과 이차원 물질층(20) 사이에 삽입되는 층으로서, 기판(sub) 상에 이차원 물질층(20)이 보다 효율적으로 형성될 수 있도록 하는 층일 수 있다. 이차원 물질층(20)의 핵생성 밀도가 $10^9 ea/cm^2$ 이상이 되도록 할 수 있다. 예를 들어, 나노결정질 그래핀층(10)의 그레인 크기는 1nm 내지 1000nm일 수 있다. 이처럼, 이차원 물질층(20)의 전구체가 나노결정질 그래핀층(10) 상에 증착되는 과정에서, 이차원 물질층(20)의 핵생성 밀도가 $10^9 ea/cm^2$ 이상이 될 수 있도록 나노결정질 그래핀층(10)은 충분히 작은 그레인 크기를 가질 수 있다. 예를 들어, 이차원 물질층(20)의 핵생성 밀도는 $1.7\times10^9 ea/cm^2$ 일 수 있다. 그러나 이에 한정되는 것은 아니며, 이차원 물질층(20)의 핵생성 밀도는 $1.7\times10^9 ea/cm^2$보다 클 수 있다.

[0051] 이차원 물질층(20)은 전이금속 디칼코게나이드(transition metal dichalcogenide; TMD)를 포함할 수 있다. 전이금속 디칼코게나이드는 화학식 MX_2로 표시되는 조성을 포함할 수 있다. 이 경우, M은 전이금속 원소이고, X는 칼코겐 원소를 나타낸다. 예를 들어, 전이금속 원소는 몰리브덴(Mo), 텅스텐(W), 팔라듐(Pd), 백금(Pt), 티타늄(Ti), 지르코늄(Zr), 하프늄(Hf), 바나듐(V), 나이오븀(Nb), 탄탈럼(Ta), 몰리브덴(Mo), 텅스텐(W), 테크네튬(Tc), 레늄(Re), 코발트(Co), 로듐(Rh), 이리듐(Ir), 니켈(Ni), 팔라듐(Pd), 백금(Pt), 아연(Zn) 및 주석(Sn)으로 이루어진 군으로부터 선택될 수 있다. 등을 포함할 수 있다. 또한, X는 황(S), 셀레늄(Se), 텔루륨(Te)으로 이루어진 군으로부터 선택될 수 있다. 예를 들어, 전이금속 디칼코게나이드는 MoS_2, $MoSe_2$, WS_2, WSe_2, WTe_2,

$MoTe_2$, ZrS_2, $ZrSe_2$, GaSe, $GaTe_2$, HfS_2, $HfSe_2$, SnSe, $PtSe_2$, $PdSe_2$, $PdTe_2$, $ReSe_2$, VS_2, VSe_2, $NbSe_2$, $FeSe_2$, $FeTe_2$ 중 적어도 어느 하나를 포함할 수 있다.

[0052] 그러나 이에 한정되는 것은 아니고, 이차원 물질층(20)은 전이금속 디칼코게나이드 이외에, 다양한 이차원 물질을 포함할 수 있다. 예를 들어, 이차원 물질층(20)은 h-BN, a-BN, MXene, Silicene, Stanene, Tellurene, Borophene, Antimonene, Bi_2Se_3, Bi_2O_2Se 중 적어도 어느 하나를 포함할 수 있다.

[0053] 도 2는 일 실시예에 따른 박막 구조체 제조 방법을 설명하기 위한 흐름도이다. 도 3은 일 실시예에 따른 박막 구조체 제조 방법에 따라 기판(sub) 상에 나노결정질 그래핀층(10)을 형성한 모습을 간략하게 도시한 것이다. 도 4는 일 실시예에 따른 박막 구조체 제조 방법에 따라 나노결정질 그래핀층(10) 상에 이차원 물질층(20)의 핵(N)이 형성된 모습을 설명하기 위한 것이다. 도 5는 일 실시예에 따른 박막 구조체 제조 방법에 따라 나노결정질 그래핀층(10) 상에 형성된 이차원 물질층(20)의 핵생성 밀도를 설명하기 위한 사진이다. 도 6은 일 실시예에 따른 박막 구조체 제조 방법에 따라 제조된 박막 구조체(100)의 예시적인 구조를 간략하게 도시한 것이다.

[0054] 도 2를 참조하면, 일 실시예에 따른 박막 구조체 제조 방법은 반응 챔버 내에 구비된 기판(sub) 상에 나노결정질 그래핀층(10)을 형성하는 단계(S101) 및 나노결정질 그래핀층(10) 상에 이차원 물질층(20)을 형성하는 단계(S102)를 포함할 수 있다.

[0055] 도 3에 도시된 바와 같이, 기판(sub) 상에 나노결정질 그래핀층(10)을 형성할 수 있다. 기판(sub) 상에 나노결정질 그래핀층(10)을 형성하는 단계(S101)에서는, 화학 기상 증착(chemical vapor deposition; CVD) 공정, 물리 기상 증착(physical vapor deposition; PVD) 공정, 원자층 증착(atomic layer deposition; ALD) 공정 또는 이들 중 적어도 두 개의 조합을 이용하여 반응 챔버 내에 구비된 기판(sub) 상에 나노결정질 그래핀층(10)을 형성할 수 있다.

[0056] 화학 기상 증착(chemical vapor deposition; CVD) 공정에는 플라즈마 강화 화학 기상 증착(plasma enhanced chemical vapor deposition; PECVD) 공정, 금속 유기 화학 기상 증착(metal organic chemical vapor deposition; MOCVD) 공정 등이 있다. 물리 기상 증착(physical vapor deposition; PVD) 공정에는 진공 증착(Vacuum Deposition) 공정, 스퍼터링(sputtering) 공정, 이온 플레이팅(Ion Plating) 공정 등이 있다. 그러나 이에 한정되는 것은 아니며, 기판 상에 나노결정질 그래핀층(10)을 형성하는 방법은 다양할 수 있다. 이 때 형성되는 나노결정질 그래핀층(10)은 1nm 내지 1000nm의 그레인 크기를 가질 수 있다.

[0057] 도 4에 도시된 바와 같이, 나노결정질 그래핀층(10) 상에 이차원 물질층(20)을 형성하기 위한 핵(N)을 생성할 수 있다. 핵(N)을 더욱 성장시킴으로써, 도 6에 도시된 바와 같이, 나노결정질 그래핀층(10) 상에 이차원 물질층(20)을 형성할 수 있다. 나노결정질 그래핀층(10) 상에 이차원 물질층(20)을 형성하는 경우, 화학 기상 증착(chemical vapor deposition; CVD) 공정, 물리 기상 증착(physical vapor deposition; PVD) 공정, 원자층 증착(atomic layer deposition; ALD) 공정 또는 이들 중 적어도 두 개의 조합이 이용될 수 있다. 그러나 이에 한정되는 것은 아니며, 나노결정질 그래핀층(10) 상에 이차원 물질층(20)을 형성하는 방법은 다양할 수 있다.

[0058] 예를 들어, 나노결정질 그래핀층(10) 이차원 물질층을 형성하는 단계(S102)에서는 전이금속 디칼코게나이드(TMD)의 2종 이상의 전구체를 일정 온도 및 일정 압력 하에서 반응 챔버에 공급하여 이차원 물질층을 형성할 수 있다. 2종 이상의 전구체는 전이금속 원소와 칼코겐 원소를 포함하는 전구체일 수 있다. 반응 챔버 내에 공급된 전구체가 나노결정질 그래핀층(10) 상에 증착됨으로써 이차원 물질층(20)의 형성을 위한 핵(N)이 생성될 수 있다. 도 5에 도시된 바와 같이, 1nm 내지 1000nm의 그레인 크기를 가지는 나노결정질 그래핀층(10) 상에 형성되는 이차원 물질층(20)의 핵생성 밀도가 $10^9 ea/cm^2$일 수 있다. 이처럼 $10^9 ea/cm^2$ 이상의 큰 핵생성 밀도에 따라, 이차원 물질층(20)의 균일도가 증가할 수 있다. 또한, 이차원 물질층(20)을 형성하기 위해 전구체를 반응 챔버에 공급하는 시간이 크게 단축될 수 있다. 예를 들어, 전구체를 반응 챔버에 공급하는 시간은 5분 이상 30분 이하일 수 있다.

[0059] 예를 들어, 전이금속 원소의 전구체는 티타늄(Ti), 지르코늄(Zr), 하프늄(Hf), 바나듐(V), 나이오븀(Nb), 탄탈럼(Ta), 몰리브덴(Mo), 텅스텐(W), 테크네튬(Tc), 레늄(Re), 코발트(Co), 로듐(Rh), 이리듐(Ir), 니켈(Ni), 팔라듐(Pd), 백금(Pt), 아연(Zn) 및 주석(Sn)으로 이루어진 군으로부터 선택된 적어도 하나의 원소를 포함하는 것일 수 있다. 예를 들어, 전이금속 원소의 전구체는 상기 원소를 함유하는 산화 금속, 할로겐화 금속, 금속 카보닐 화합물 또는 이들의 조합을 포함할 수 있다.

[0060] 예를 들어, 칼코겐 원소의 전구체는 황(S), 셀레늄(Se), 텔루륨(Te)으로 이루어진 군으로부터 선택된 적어도 하

나의 원소를 포함하는 것일 수 있다. 칼코겐 원소의 전구체는 예를 들어, 황(S), 황화수소(H_2S), 디에틸설파이드(diethyl sulfide), 디메틸디설파이드(dimethyl disulfide), 에틸메틸설파이드(Ethyl methyl sulfide), $(Et_3Si)_2S$, 셀레늄화수소(H_2Se), 디에틸셀레나이드(diethyl selenide), 디메틸디셀레나이드(dimethyl diselenide), 에틸메틸셀레나이드(ethyl methyl selenide), $(Et_3Si)_2Se$, 텔레늄화수소(H_2Te), 디메틸텔루라이드(dimethyl telluride), 디에틸텔루라이드(diethyl telluride), 에틸메틸텔루라이드(Ethyl methyl telluride) 및 $(Et_3Si)_2Te$ 로 이루어진 군으로부터 선택된 적어도 하나를 포함할 수 있다.

[0061] 도 7은 일 실시예에 따른 반도체 소자(1000)의 예시적인 구조를 간략하게 도시한 것이다. 나노결정질 그래핀층(11) 및 이차원 물질층(21)은 도 1의 나노결정질 그래핀층(10) 및 이차원 물질층(20)과 각각 실질적으로 동일할 수 있다. 도 7을 설명함에 있어, 도 1 내지 도 6과 중복되는 내용은 생략한다.

[0062] 도 7을 참조하면, 반도체 소자(1000)는 트랜지스터 구조를 포함할 수 있다. 트랜지스터 구조의 반도체 소자(1000)는 나노결정질 그래핀층(11) 및 나노결정질 그래핀층(11) 상에 마련되는 이차원 물질층(21)을 포함하는 박막 구조체를 포함할 수 있다. 또한, 트랜지스터 구조의 반도체 소자(1000)는 이차원 물질층(21)과 이격된 게이트 전극(31) 및 이차원 물질층(21)과 게이트 전극(31) 사이에 마련된 게이트 절연층(41), 박막 구조체의 양단과 각각 전기적으로 연결되는 소스 전극(S) 및 드레인 전극(D)을 더 포함할 수 있다. 이 경우, 나노결정질 그래핀층(11) 및 이차원 물질층(21)을 포함하는 박막 구조체는 반도체 소자(1000)의 채널층으로 기능할 수 있다. 도 7에는 나노결정질 그래핀층(11) 상에 이차원 물질층(21)이 마련되어 있으나, 이에 한정되는 것은 아니며, 나노결정질 그래핀층(11)은 생략될 수 있다.

[0063] 게이트 전극(31)은 균일 또는 불균일한 도핑 농도를 가지는 도핑된 폴리실리콘을 포함할 수 있다. 그러나 이에 한정되는 것은 아니며, 게이트 전극(31)은 알루미늄(Al), 구리(Cu), 텅스텐(W), 티타늄(Ti), 코발트(CO), 니켈(Ni), 탄탈럼(Ta), 질화 티타늄(TiN), 티타늄 알루미나이드(TiAl), 질화 티타늄 알루미나이드(TiAlN), 질화 탄탈럼(TaN) 중 적어도 어느 하나를 포함할 수 있다. 게이트 전극(31)은 화학 기상 증착(chemical vapor deposition; CVD) 공정, 물리 기상 증착(physical vapor deposition; PVD) 공정, 원자층 증착(atomic layer depositionl ALD) 공정 등을 통해 형성될 수 있다.

[0064] 게이트 절연층(41)은 이차원 물질층(21)과 게이트 전극(31)을 절연시킬 수 있다. 예를 들어, 게이트 절연층(41)은 실리콘 산화물, 실리콘 질화물, 산화알루미늄(Al2O3), 산화하프늄(HfO2), 산화지르코늄(ZrO2), 실리콘 산화 질화물(SiON), high-k 물질을 포함할 수 있다. High-k 물질은 리튬(Li), 베릴륨(Be), 마그네슘(Mg), 칼슘(Ca), 스트론튬(Sr), 스칸듐(Sc), 이트륨(Y,) 지르코늄(Zr), 하프늄(Hf), 알루미늄(Al), 란타넘(La), 세륨(Ce), 프라세오디뮴(Pr), 네오디뮴(Nd), 사마륨(Sm), 유로퓸(Eu), 가돌리늄(Gd), 터븀(Tb), 디스프로슘(Dy), 홀뮴(Ho), 어븀(Er), 톨륨(Tm), 이테르븀(Yb), 루테튬(Lu) 등으로 이루어진 군으로부터 선택된 적어도 하나의 원소를 포함하는 것일 수 있다. 게이트 절연층(41)은 단일층으로 이루어지거나, 복수 개의 층으로 이루어질 수도 있다. 게이트 절연층(41)은 화학 기상 증착(chemical vapor deposition; CVD) 공정, 물리 기상 증착(physical vapor deposition; PVD) 공정, 원자층 증착(atomic layer depositionl ALD) 공정 등을 통해 형성될 수 있다.

[0065] 소스 전극(S) 및 드레인 전극(D)은, 금(Au), 은(Ag), 알루미늄(Al), 구리(Cu), 텅스텐(W,) 코발트(Co), 니켈(Ni), 티타늄(Ti), 탄탈럼(Ta), 질화 티타늄(TiN), 티타늄 알루미나이드(TiAl), 질화 티타늄 알루미나이드(TiAlN), 질화 탄탈럼(TaN) 중 적어도 어느 하나를 포함할 수 있다. 소스 전극(S) 및 드레인 전극(D)은 각각 나노결정질 그래핀층(11)의 양단과 접하도록 형성될 수 있다. 그러나 이에 한정되는 것은 아니며, 소스 전극(S) 및 드레인 전극(D)은 각각 이차원 물질층(21)의 양단과 접하도록 형성될 수도 있다.

[0066] 도 8은 다른 일 실시예에 따른 반도체 소자(1100)의 예시적인 구조를 간략하게 도시한 것이다. 나노결정질 그래핀층(12) 및 이차원 물질층(22)은 도 1의 나노결정질 그래핀층(10) 및 이차원 물질층(20)과 각각 실질적으로 동일할 수 있다. 도 8을 설명함에 있어, 도 1 내지 도 6과 중복되는 내용은 생략한다.

[0067] 도 8을 참조하면, 반도체 소자(1100)는 광전자 소자(optoelectronic device)로서, 나노결정질 그래핀층(12) 및 나노결정질 그래핀층(12) 상에 마련되는 이차원 물질층(22)을 포함하는 박막 구조체를 포함할 수 있다. 또한, 광전자 소자의 반도체 소자(1100)는 이차원 물질층(22) 상에 마련되는 도전층(52)을 더 포함할 수 있다. 도전층(52)은 나노결정질 그래핀 또는 금속을 포함할 수 있다. 이 경우, 반도체 소자(1100)는 Metal/Semiconductor/Metal 구조의 MSM 다이오드로 기능할 수 있다.

[0068] 상기한 다양한 실시예들은 예시적인 것에 불과한 것으로, 당해 기술분야의 통상을 지식을 가진 자라면 이로부터 다양한 변형 및 균등한 타 실시예가 가능하다는 것을 이해할 수 있다. 따라서, 예시적인 다양한 실시예에 따른 진정한 기술적 보호범위는 하기의 특허청구범위에 기재된 발명의 기술적 사상에 의해 정해져야만 할 것이다.

부호의 설명

[0069] 10, 11, 12: 나노결정질 그래핀층

20, 21, 22: 이차원 물질층

31: 게이트 전극

41: 게이트 절연층

52: 도전층

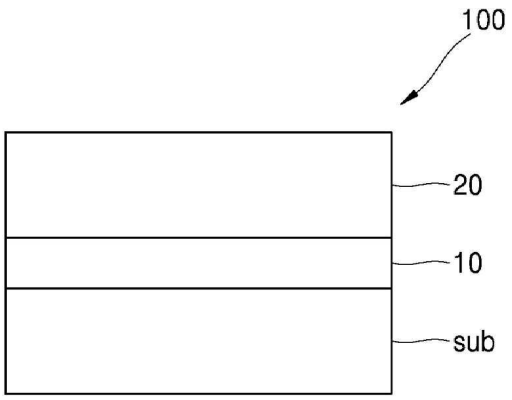
sub: 기판

100: 박막 구조체

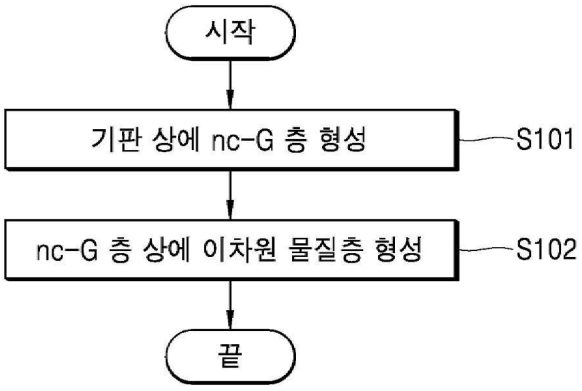
1000, 1100: 반도체 소자

도면

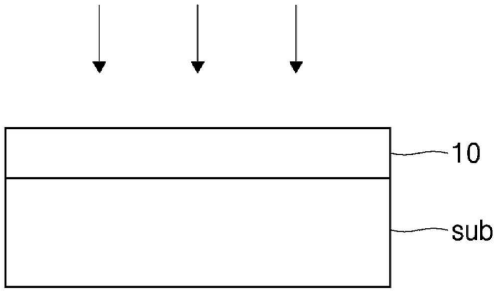
도면1



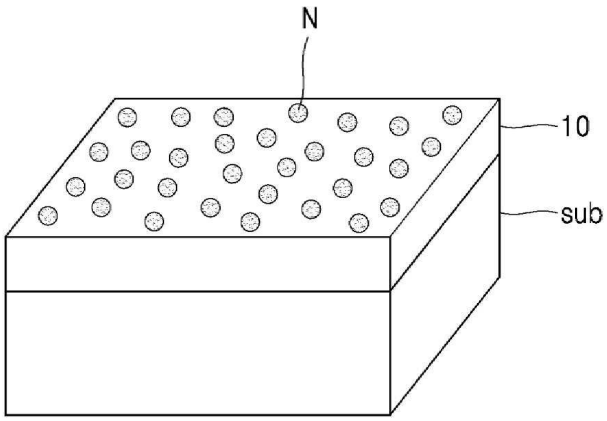
도면2



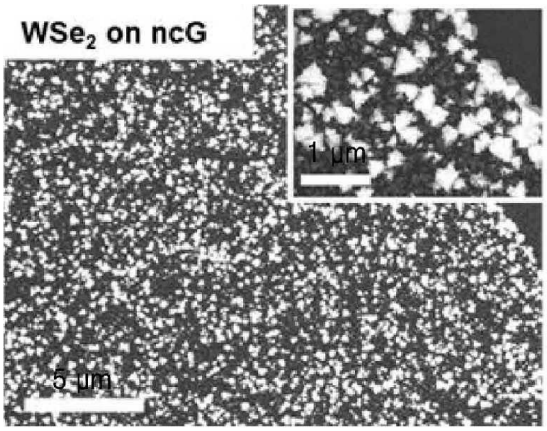
도면3



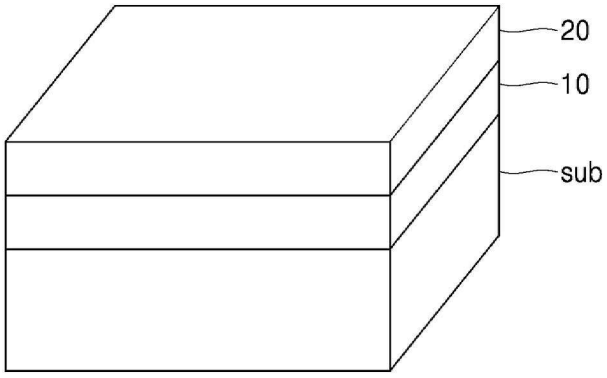
도면4



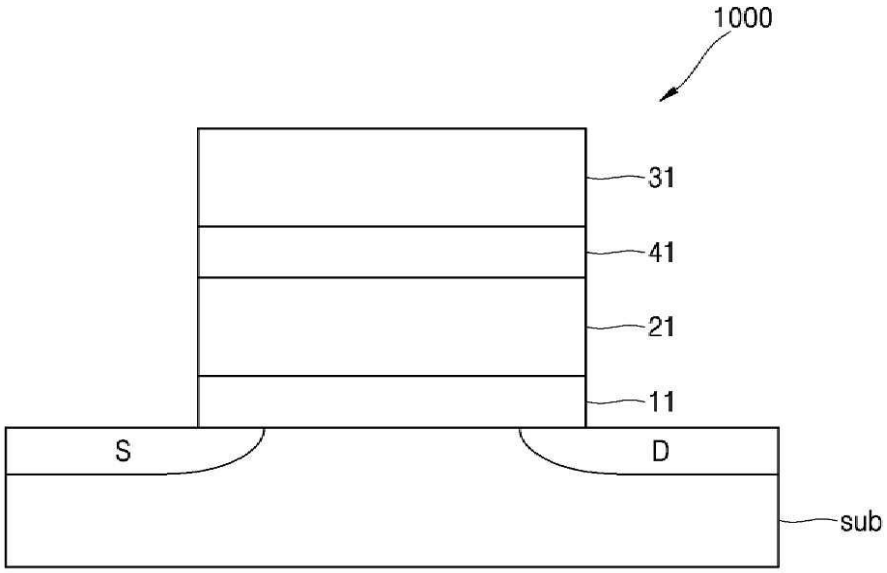
도면5



도면6



도면7



도면8

