



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2021-0109906
(43) 공개일자 2021년09월07일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
H01L 31/032 (2006.01) H01L 31/0224 (2006.01)
H01L 31/0392 (2006.01) H01L 31/08 (2006.01)
H01L 31/18 (2006.01)
(52) CPC특허분류
H01L 31/0324 (2013.01)
H01L 31/022425 (2013.01)
(21) 출원번호 10-2020-0025103
(22) 출원일자 2020년02월28일
심사청구일자 2020년02월28일

(71) 출원인
경희대학교 산학협력단
경기도 용인시 기흥구 덕영대로 1732 (서천동, 경
희대학교 국제캠퍼스내)
(72) 발명자
이승현
경기도 수원시 영통구 광고호수공원로 45,1005동
1101호
임진호
서울시 강동구 진랑도로 212, 201동 605호
(74) 대리인
김홍석

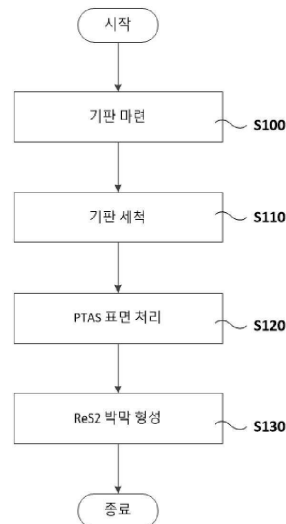
전체 청구항 수 : 총 11 항

(54) 발명의 명칭 ReS₂ 박막 형성 방법 및 이를 이용한 광 검출기 형성 방법

(57) 요약

ReS₂박막 형성 방법 및 이를 이용한 검출기 형성 방법을 제공한다. ReS₂ 박막은 절연막을 포함하는 기판을 마련하
고, 기판의 절연막의 표면을 시드 촉진제(seeding promoter)로 처리하며, 시드 촉진제가 표면 처리된 기판 상에
다결정의 ReS₂박막을 화학 기상 증착 공정으로 직접적으로(directly) 형성하는 것을 포함한다. 화학 기상 증착
공정 시, 증착 공정이 수행되는 공정 공간을 330℃ 12분 동안 가열하고 330℃를 5분 동안 유지하여 열 공정을 안
정화 하고, 공정 공간을 760℃ 에서 20분 동안 가열하고 15분 유지하여 상기 ReS₂박막이 성장하는 것을
포함한다.

대표도 - 도1



(52) CPC특허분류

H01L 31/0392 (2013.01)

H01L 31/08 (2013.01)

H01L 31/18 (2021.01)

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호	20190582
부처명	교육부
과제관리(전문)기관명	한국연구재단
연구사업명	이공분야기초연구사업/중점연구소지원사업
연구과제명	융복합 에너지 자율형 다기능 센서 플랫폼 연구 1단계-(2/3)
기 여 율	1/2
과제수행기관명	경희대학교 산학협력단
연구기간	2018.06.01 ~ 2021.02.28

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호	20191906
부처명	과학기술정보통신부
과제관리(전문)기관명	한국산업기술평가관리원
연구사업명	전자정보디바이스산업원천기술개발사업(반도체)
연구과제명	3D 메모리스터 어레이 결점 극복을 위한 뉴로모픽 시스템-1단계3차년도(3/5)
기 여 율	1/2
과제수행기관명	경희대학교 산학협력단
연구기간	2017.12.01 ~ 2021.12.31

명세서

청구범위

청구항 1

절연막을 포함하는 기판을 마련하는 단계;

상기 기판의 절연막의 표면을 시드 촉진제(seeding promoter)로 처리하는 단계; 및

상기 시드 촉진제가 표면 처리된 기판 상에 다결정의 ReS_2 박막을 화학 기상 증착 공정으로 직접적으로 (directly) 형성하는 단계를 포함하되,

상기 화학 기상 증착 공정 시,

상기 증착 공정이 수행되는 공정 공간을 330°C 12분 동안 가열하고 330°C 를 5분 동안 유지하여 열 공정을 안정화 하는 단계; 및

상기 공정 공간을 760°C 에서 20분 동안 가열하고 15분 유지하여 상기 ReS_2 박막이 성장하는 단계를 포함하는 ReS_2 박막 형성 방법.

청구항 2

제1항에 있어서,

상기 시드 촉진제는 perylene-3,4,9,10-tetracarboxylic acid tetrapotassium acid salt (PTAS)을 포함하는 ReS_2 박막 형성 방법.

청구항 3

제1항에 있어서,

상기 완성되는 ReS_2 박막은 적어도 1cm^2 이상의 크기를 갖는 ReS_2 박막 형성 방법.

청구항 4

제1항에 있어서,

상기 기판의 표면을 상기 시드 촉진제를 처리 하기 전에,

상기 기판을 아세톤, 이소프로필 알코올, 및 DI로 세척, 이소프로필 알코올로 초음파 적용, 및 O_2 플라즈마 처리 중 적어도 하나를 수행하는 것을 더 포함하는 ReS_2 박막 형성 방법.

청구항 5

제1항에 있어서,

상기 ReS_2 박막은 복수의 층으로 이루어지는 ReS_2 박막 형성 방법.

청구항 6

절연막을 포함하는 기판을 마련하는 단계;

상기 기판의 절연막의 표면을 시드 촉진제(seeding promoter)로 처리하는 단계;

상기 시드 촉진제가 표면 처리된 기판 상에 다결정의 ReS_2 박막을 화학 기상 증착 공정으로 직접적으로 (directly) 형성하여, 활성층을 형성하는 단계; 및

상기 활성층의 양단에 Ti를 포함하는 전극들을 형성하는 단계를 포함하는 광 검출기 형성 방법.

청구항 7

제6항에 있어서,

상기 시드 축진체에 의해 상기 활성층 내 분산 사이트(scattering site)가 구성되는 광 검출기 형성 방법.

청구항 8

제6항에 있어서,

상기 활성층이 상기 시드 축진체가 표면 처리된 기판 상에 직접적으로 형성됨으로써, 상기 활성층에는 트랩 상태가 없어, 상기 광 검출기에서 발생된 캐리어들의 이동이 감소하게 되어, 캐리어 드리프트 속도가 증가하는 광 검출기 형성 방법.

청구항 9

제6항에 있어서,

상기 시드 축진체는 perylene-3,4,9,10-tetracarboxylic acid tetrapotassium acid salt (PTAS)을 포함하고, 상기 전극들 각각은 Ti/Au를 포함하는 광 검출기 형성 방법.

청구항 10

제6항에 있어서,

상기 채널 길이 및 폭은 2 및 100 μm 인 광 검출기 형성 방법.

청구항 11

제6항에 있어서,

상기 전극들을 형성하는 것은,

상기 활성층 양단을 광학 포토리소그래피 공정으로 식각하는 단계; 및

식각된 부분에 전자선 증착 공정을 이용하여 상기 전극들을 형성하는 단계를 포함하는 광 검출기 형성 방법.

발명의 설명

기술 분야

[0001] 본 발명은 전이금속 다이칼로게나이드에 관한 것으로, 보다 상세하게는 ReS_2 박막 형성 방법 및 이를 이용한 광 검출기 형성 방법에 관한 것이다.

배경 기술

[0002] ReS_2 은 두께에 무관하게 항상 직접 천이를 가지는 전이금속 칼코겐 물질이다. T상 구조로 인한 약한 층간 결합을 가지기 때문이다. 이러한 특성으로 연속적인 ReS_2 초박막은 전자/광전자 소자를 위한 미래의 대안이 된다.

[0003] 현재까지 수행된 ReS_2 합성에 대한 기존 방법 대부분은 대규모 전자소자 및 집적회로에 적용하기에는 무리가 있다. 기계적 박리로 만들어진 표본이나 작은 조각($<1 \text{ mm}^2$)으로 합성되었기 때문이다. 화학 증기 증착(CVD)을 이용한 합성 방법 역시 다른 2차원 소재에 비해 큰 면적의 연속된 ReS_2 박막을 직접 합성하는 것은 난이도가 매우 크다.

발명의 내용

해결하려는 과제

[0004] 본원 발명이 해결하고자 하는 과제는 큰 면적의 연속된 ReS_2 박막을 형성하는 방법을 제공하는 것이다.

[0005] 또한, 본원 발명에 제공하고자 하는 과제는 상기의 ReS_2 박막을 형성하는 방법을 이용한 광 검출기를 제공하는 것이다.

과제의 해결 수단

[0006] 해결하고자 하는 과제를 달성하기 위하여 본 발명의 실시 예들에 따른 ReS_2 박막 형성 방법은 절연막을 포함하는 기판을 마련하는 단계; 상기 기판의 절연막의 표면을 시드 촉진제(seeding promoter)로 처리하는 단계; 및 상기 시드 촉진제가 표면 처리된 기판 상에 다결정의 ReS_2 박막을 화학 기상 증착 공정으로 직접적으로(directly) 형성하는 단계를 포함하되, 상기 화학 기상 증착 공정 시, 상기 증착 공정이 수행되는 공정 공간을 330°C 12분 동안 가열하고 330°C 를 5분 동안 유지하여 열 공정을 안정화 하는 단계; 및 상기 공정 공간을 760°C 에서 20분 동안 가열하고 15분 유지하여 상기 ReS_2 박막이 성장하는 단계를 포함한다.

[0007] 다른 실시예들에 따른 광 검출기 형성 방법은, 절연막을 포함하는 기판을 마련하는 단계; 상기 기판의 절연막의 표면을 시드 촉진제(seeding promoter)로 처리하는 단계; 및 상기 시드 촉진제가 표면 처리된 기판 상에 다결정의 ReS_2 박막을 화학 기상 증착 공정으로 직접적으로(directly) 형성하여, 활성층을 형성하는 단계; 상기 활성층의 양단에 Ti를 포함하는 전극들을 형성하는 단계를 포함한다.

발명의 효과

[0008] 본 발명의 실시 예들에 따른 ReS_2 박막 형성 방법에서, 큰 면적의 연속된 다결정 ReS_2 박막을 복수 층으로 형성하면서 막의 품질이 우수하다. 또한, 이러한 ReS_2 박막 형성 방법을 이용한 광 검출기 형성 방법에서, 응답 속도가 빠르고 성능이 우수한 광 검출기를 제조할 수 있다.

도면의 간단한 설명

[0009] 도 1은 본 발명의 일 실시예에 따른 ReS_2 박막 형성하는 방법을 설명하기 위한 순서도이다.

도 2는 본 발명의 일 실시예에 따른 ReS_2 박막의 증착 공정을 수행하는 화학 기상 증착 장치를 설명하기 위한 도면이다.

도 3은 도 2에 도시된 화학 기상 증착 장치에서, 화학 기상 증착 공정을 수행되는 동안, 제1 반응물질 및 제2 반응물질의 온도 변화를 나타내는 그래프이다.

도 4는 본 발명의 일 실시예에 따른 광 검출기를 설명하기 위한 사시도이다.

도 5는 실험에 1에서 SiO_2/Si 기판 상에 증착된 ReS_2 박막을 보여주는 현미경 사진이다.

도 6은 실험에 1의 ReS_2 박막의 HR-라만(Raman)을 보여주는 그래프이다.

도 7은 실험에 1의 ReS_2 박막의 형광성 스펙트럼이다.

도 8은 실험에 1의 ReS_2 박막의 AFM(atomic force microscope) 사진이다.

도 9 내지 도 11은 실험에 1의 ReS_2 박막의 FE-TEM 사진들이다.

도 12 내지 도 14는 실험에 1의 ReS_2 박막의 XPS 스펙트럼들이다.

도 15는 실험에 2의 광 검출기의 현미경 이미지이다.

도 16은 실험에 2의 광 검출기를 과장에 따른 광 응답 특성을 나타내는 그래프이다.

도 17은 암흑 및 조명 조건 하에서 실험에 2의 광 검출기의 I-V 그래프이다.

도 18은 실험에 2의 광 검출기의 시간 의존적 광 응답을 나타내는 도면이다.

도 19 및 도 20은 실험에 2의 광 검출기의 상승/감소 시간을 나타내는 그래프이다.

도 21 및 도 22는 실험에 2의 광 검출기의 광 응답 속도를 나타내는 그래프들이다.

도 23 내지 도 25는 실험예 2의 광 검출기의 작동 메커니즘을 설명하는 도면들이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

- [0010] 본 발명의 구성 및 효과를 충분히 이해하기 위하여, 첨부한 도면을 참조하여 본 발명의 바람직한 실시 예들을 설명한다. 그러나 본 발명은, 이하에서 개시되는 실시 예들에 한정되는 것이 아니라, 여러 가지 형태로 구현될 수 있고 다양한 변경을 가할 수 있다.
- [0011] 또한, 본 발명의 실시 예들에서 사용되는 용어들은 다르게 정의되지 않는 한, 해당 기술 분야에서 통상의 지식을 가진 자에게 통상적으로 알려진 의미로 해석될 수 있다.
- [0012] 전이금속 다이칼로게나이드(transition metal dichalcogenide: TMD)는 단층 한계에서 안정적인 직접 천이 특성을 보여 광전자 및 광기전 응용에 유용하다. 전이금속 다이칼로게나이드 밴드갭 크기가 층수에 크게 의존하며, 벌크(bulk)가 단층으로 얇아질 때 간접 천이에서 직접 천이가 관찰된다. 이러한 현상은 TMD 내 막들 사이에서 강한 결합 효과에 의한 것이다.
- [0013] ReS_2 는, MoS_2 , WS_2 , 및 WSe_2 와 같은 다른 TMD와 유사한 MX_2 구조를 갖는다. 그러나, ReS_2 의 물리적 특성은 다른 TMD와는 상이하다. 예를 들면, ReS_2 에서 단일 층은 벌크와 유사한 밴드갭 크기(1.5 내지 1.6eV)를 가지며, 간접 천이-직접 천이 전환을 거치지 않는다. 이는 ReS_2 에서 왜곡된 T상 구조에 의한 상대적으로 약한 층간 결합과 직접된 관련된다. T상 구조는 각각의 Re 원자에서 여분의 밸런스 전자의 안정화에서 비롯되며, 특히, ReS_2 은 대면적 필름에서 나타나는 두께 불일치에 대하여 높은 내성을 갖는 견고한 2D 물질이다. 한편, ReS_2 은 수지상 구조(dendritic structure)로 성장하려는 경향이 있다. 따라서, 기판 상에 직접적으로 형성하는 것이 어렵고, 대면적의 연속된 ReS_2 박막을 합성하는 것이 어렵다.
- [0014] 이하에서는 본 발명의 실시예들에 따른 ReS_2 박막 형성 방법 및 이를 이용한 광 검출기의 형성 방법을 도면을 참조하여 설명하기로 한다.
- [0015] 도 1은 본 발명의 일 실시예에 따른 ReS_2 박막 형성하는 방법을 설명하기 위한 순서도이다.
- [0016] 도 1을 참조하면, 기판을 마련한다(S100). 기판은 대면적 크기를 가지며 예컨대, $1.5 \times 1.5 \text{ cm}^2$ 사이즈를 가질 수 있다. 기판은 실리콘(Si)과 같은 반도체 물질 상에 실리콘 산화물(SiO_2)과 같은 절연막이 적층된 구조를 갖는다. 일 예로, 절연막은 300nm의 두께를 가질 수 있다.
- [0017] 기판을 세척할 수 있다(S110). 일 예로, 기판을 아세톤(acetone), 이소프로필 알코올(isopropyl alcohol), 및 DI(deionized water)를 이용하여 세척하고, 이때 이소프로필 알코올을 이용하여 30초 동안 초음파 세정할 수 있다. 선택적으로, 기판은 30초 정도 산소 플라즈마(O_2 plasma)처리될 수 있다.
- [0018] 세척된 기판 상에 perylene-3,4,9,10-tetracarboxylic acid tetrapotassium acid salt (PTAS) 표면 처리한다(S120). 일 실시예에 따르면, PTAS를 기판의 가장자리에 떨어뜨리고 약 50 내지 60℃에서 약 2시간 건조시켜, 기판을 PTAS 표면 처리를 할 수 있다.
- [0019] PTAS가 후속하여 완성되는 ReS_2 박막에서 산란 사이트(scattering site)의 원천일 수 있다.
- [0020] PTAS 표면 처리된 기판 상에 ReS_2 박막을 바로 증착될 수 있다(S130). 통상적으로, ReS_2 은 기계적 박리로 만들어진 표본이나 작은 조각($<1 \text{ mm}^2$)으로 합성한다. 또한, 대면적의 ReS_2 박막을 형성하는 것은 매우 어려운 공정이다. 이는 ReS_2 가 수지상 구조로 성장하기 때문이다.
- [0021] 그러나, 본 발명에서 설명된 바와 같이, SiO_2/Si 기판을 PTAS로 표면 처리하면, 대면적의 SiO_2/Si 기판 상에 대면적의 ReS_2 바로 증착될 수 있다. 일 실시예에 따르면, ReS_2 박막은 화학 기상 증착(chemical vapor deposition: CVD) 공정으로 증착될 수 있다.
- [0022] 이하에서는, ReS_2 박막을 화학 기상 증착 과정을 화학 기상 증착 장치와 함께 상세하게 설명하기로 한다.

- [0023] 도 2는 본 발명의 일 실시예에 따른 ReS_2 박막의 증착 공정을 수행하는 화학 기상 증착 장치를 설명하기 위한 도면이다.
- [0024] 도 2를 참조하면, 화학 기상 증착 장치는 챔버(100), 챔버(100) 내 구비되며 기판이 로딩되는 로딩부, 적어도 하나의 반응 물질을 제공하는 반응물질 제공부(110, 120), 및 챔버(100) 내부를 가열하는 가열부를 포함할 수 있다.
- [0025] 챔버(100)는 가열부와 일체형인 퍼니스(furnace)일 수 있다. 챔버(100) 내에는 증착 공정이 수행되는 공정 공간을 제공할 수 있다. 일 예로, 챔버(100)는 튜브(tube) 형상을 가질 수 있다. 로딩부는 공정 공간 내에 배치되며, 기판을 안착시키는 곳이다.
- [0026] 반응물질 제공부(110, 120)는 적어도 하나의 반응 물질을 기판으로 제공할 수 있다. 본 실시예에 따르면, ReS_2 박막을 증착하기 위하여, 레튬(Re)을 포함하는 제1 반응물질을 제공하는 제1 제공부(110) 및 황(S)을 포함하는 제2 반응물질을 제공하는 제2 제공부(120)를 포함할 수 있다. 제1 제공부(110)는 챔버(100)의 중앙 부위에 배치되어, 공정 공간 중앙 부위에 배치된 기판으로 제1 반응물질을 제공하며, 제2 제공부(120)는 챔버(100)의 가장 자리에 배치되어, 기판의 가장자리 부위로 제2 반응물질을 제공할 수 있다. 일 실시예에 따르면, 제1 제공부(110)는 로딩부와 일체형일 수 있으며, 이 경우, 기판은 제1 제공부(110) 상에 배치될 수 있다.
- [0027] 한편, 화학 기상 증착 장치는 챔버(100) 내부에서 비활성 가스를 캐리어 가스 제공하는 캐리어 가스 제공부를 더 포함할 수 있다.
- [0028] 도 1 및 도 2를 참조하면, 챔버(100) 중앙에 배치된 제1 제공부(110)에서 레튬 파우더(rhenium powder)를 공정 공간으로 제공하고, 챔버(100)의 가장자리에 배치된 제2 제공부(120)에서 황 파우더(sulfur powder)를 공정 공간으로 제공할 수 있다. 이때, 제1 반응 물질 및 제2 반응 물질로, 최소한의 불순물을 포함하는 단일 원소를 포함하는 소스들을 이용하는 것이 최종적으로 획득된 박막의 질을 향상시킬 수 있다.
- [0029] 건조된 PTAS가 표면 처리된 기판을 PTAS 표면 처리된 부분이 아래로 가도록 챔버(100) 내 중앙의 제1 제공부(110) 상에 로딩된다. 이때, 베이스 압력은 1×10^{-3} Torr이고, 캐리어 가스 제공부로부터 제공된 아르곤 가스가 챔버(100)의 공정 공간 내부를 채운 상태이다.
- [0030] 도 3은 도 2에 도시된 화학 기상 증착 장치에서, 화학 기상 증착 공정을 수행되는 동안, 제1 반응물질 및 제2 반응물질의 온도 변화를 나타내는 그래프이다.
- [0031] 도 2 및 도 3을 참조하면, 화학 기상 증착 장치는 약 330°C 의 온도로 12분 동안 가열되고, 330°C 을 5분 동안 유지하여 가열 과정을 안정화한다. 이어서, 화학 기상 증착 장치는 760°C 의 온도로 20분 동안 가열하고 동일한 온도를 15분 동안 유지하여, 기판 상에 ReS_2 를 성장시킬 수 있다.
- [0032] 한편, 캐리어 가스로서 아르곤 가스는 550 sccm의 용량으로 퍼지하기 위하여 330°C 까지 제공되고, 그 후 화학 기상 증착 공정이 마무리될 때까지 20sccm으로 감소시켜 제공된다.
- [0033] 화학 기상 증착 공정을 마무리하면, 화학 기상 증착 공정은 실온으로 냉각될 수 있다.
- [0035] 이하에서는, 기판 상에 형성된 ReS_2 를 채널로 사용하는 광 검출기를 형성하는 방법에 대하여 설명하기로 한다.
- [0036] 도 4는 본 발명의 일 실시예에 따른 광 검출기를 설명하기 위한 사시도이다.
- [0037] 도 4를 참조하면, 광 검출기는 기판, 액티브층, 및 전극들을 포함할 수 있다.
- [0038] 일 실시예에 따르면, 기판은 SiO_2/Si 기판이며, PTAS으로 기판을 표면 처리한 후, 화학 기상 증착 장치를 이용하여 PTAS 표면 처리된 기판 상에 ReS_2 박막을 형성할 수 있다. 이에 대한 상세한 설명은 도 1 내지 도 3에서 설명한 것 과 실질적으로 동일하여 생략하기로 한다.
- [0039] 액티브층은 기판 상에 증착된 ReS_2 박막을 이용하되, 전류 채널로 사용될 수 있다.
- [0040] 전극들을 기판 상에 ReS_2 박막의 양단에 각각 배치될 수 있다. 일 실시예에 따르면, 광학 포토리소그래피 공정에 의해 전극 위치들이 식각되고, 식각된 부분들에 전자선 증착(electron-beam evaporation) 공정을 이용하여 금속

을 증착하여 전극들을 형성할 수 있다.

- [0041] 전극들로 사용되는 금속의 일함수와 ReS_2 채널 가장자리의 전도대 사이 준위 불일치(mismatch)는 쇼트키 장벽(Schottky barrier)을 형성할 수 있다. 이를 극복하기 위하여 전극들 각각은 티타늄(Ti)을 포함할 수 있다. 티타늄의 계면 산화 및 페르미 레벨 피닝 효과(Fermi level pinning effect)에 의해, 티타늄은, 채널 가장자리 전도대에서 약 0.2 내지 0.5eV의 낮은 준위 불일치값을 가질 수 있다.
- [0042] 일 실시예에 따르면, 전극들로 Ti/Au를 포함하며, Ti/Au를 포함하는 전극들을 사용하면, 접촉 저항을 낮추고 광검출기의 전류값을 증가시킬 수 있다.
- [0043] 선택적으로, ReS_2 를 채널로 갖고 Ti/Au를 전극들로 구성된 광검출기를 200℃에서 아르곤 환경에서 2시간 어닐링할 수 있다. 어닐링은 광검출기의 접촉 저항을 최소화하고 성능을 향상시킬 수 있다.
- [0044]
- [0045] 이하에서는 실험예들을 통해 ReS_2 박막의 물리적 특성 및 광검출기의 물리적 특성을 설명하기로 한다.
- [0046] 실험예 1_ ReS_2 박막
- [0047] SiO_2 (300nm)/ Si 기판($1.5 \times 1.5 \text{cm}^2$)을 아세톤(acetone), 아소프로필 알코올(isopropyl alcohol), 및 DI(deionized water)를 이용하여 세척하였다.
- [0048] 이때 이소프로필 알코올을 이용하여 30초 동안 초음파 처리하였다. 이어서, 60W으로 30초 정도 산소 플라즈마(O_2 plasma) 처리하였다. 산소 플라즈마 후 PTAS 2 μl 를 SiO_2 /Si 기판 가장자리에 떨어뜨리고 약 55℃의 핫 플레이트에서 약 2시간 건조시켜, 기판을 PTAS 표면 처리하였다. 레덤 파우더 10mg와 황 파우더 200mg를 주입한 채, 건조된 PTAS가 표면 처리된 기판을 PTAS 표면 처리된 부분이 아래로 가도록 챔버 내 중앙에 배치하였다. 이때, 베이스 압력은 1×10^{-3} Torr이고, 아르곤 가스가 챔버의 공정 공간 내부를 채웠다. 약 330℃의 온도로 12분 동안 가열되고, 330℃를 5분 동안 유지하여 가열 과정을 안정화하였고, 760℃의 온도로 20분 동안 가열하고 동일한 온도를 15분 동안 유지하여, SiO_2 /Si 기판 상에 ReS_2 을 성장시켰다. 한편, 아르곤 가스는 550 sccm의 용량으로 퍼지하기 위하여 330℃까지 제공되고, 그 후 화학 기상 증착 공정이 마무리될 때까지 20sccm으로 감소시켜 제공되었다.
- [0049] 도 5는 실험예 1에서 SiO_2 /Si 기판 상에 증착된 ReS_2 박막을 보여주는 현미경 사진이다.
- [0050] 도 5를 참조하면, PTAS 표면 처리된 SiO_2 /Si 기판 상에서 ReS_2 박막은 복수의 층들을 가지며 형성된 것을 볼 수 있다. 또한, $1.5 \times 1.5 \text{cm}^2$ 의 SiO_2 /Si 기판 상에서 대면적의 ReS_2 박막이 형성된 것을 볼 수 있다.
- [0051] 도 6은 실험예 1의 ReS_2 박막의 HR-라만(Raman)을 보여주는 그래프이다.
- [0052] 도 6을 참조하면, HR-라만은 라만 현미경을 통해 획득된다. 전형적인 포논 진동 모드는 $100 \sim 400 \text{cm}^{-1}$ 범위의 라만 스펙트럼에서 식별할 수 있으며, 이는 박리된 샘플의 것과 일치한다. 많은 수의 라만 피크는 ReS_2 의 결정 대칭성이 낮고 기본 라만 모드(E_{1g} , E_{2g} 및 A_{1g})와 관련이 있다. 51, 162, 212 및 234cm^{-1} 에서 라만 피크는 면내 E_g 모드에 해당하고 134cm^{-1} 에서 피크는 면외 A_g 모드에 해당한다. 라만 모드의 선명도는 우수한 결정질 품질을 나타낸다.
- [0053] 도 7은 실험예 1의 ReS_2 박막의 형광성 스펙트럼이다.
- [0054] 도 7을 참조하면, 밴드 구조 특성을 위해 핵화 촉진된 ReS_2 샘플로 형광 분광법을 수행하였다. 형광 분광법의 피크는 1.504 eV에서 관찰되었는데, 이는 ReS_2 의 직접 천이를 나타낸다.
- [0055] 도 8은 실험예 1의 ReS_2 박막의 AFM(atomic force microscope) 사진이다.
- [0056] 도 8을 참조하면, ReS_2 박막의 높이는 가장자리에서 약 3.2 내지 3.9nm로 측정되었다. 벌크 결정으로부터 SiO_2 상

에서 박리된 ReS₂단일층의 두께가 0.7 nm인 것을 감안하면, 실험에 1의 ReS₂박막은 4 내지 5 층들이 적층된 박막인 것을 확인할 수 있다.

[0057] 도 9 내지 도 11은 실험에 1의 ReS₂박막의 FE-TEM 사진들이다.

[0058] 도 9 및 도 10에서는 화학 기상 증착 공정에 의해 성장된 ReS₂의 결정학적 구조를 확인할 수 있으며, 도 10에서는 선택된 영역 전자 회절 (selected area electron diffraction, SAED) 통해 특성화되었다. 도 9에서 보는 바와 같이, 나노 결정 배향은 다결정질 박막을 나타내는 것이며, 큰 입자 도메인($\sim \mu\text{m}^2$)을 확인하였다. 도 10에서는 (020) 및 (100) 축 사이의 각도는 약 61° 였고, (020) 방향으로의 격자 간격은 ReS₂에 대해 0.25 nm였다. 도 10의 결과는 합성 플레이크 ReS₂의 구조와 일치했다. ReS₂박막의 다결정 성질은 도 10에 도시된 회절 패턴에 의해 지지된다.

[0059] 도 11에는 ReS₂필름의 가장자리의 FE-TEM 사진으로, ReS₂필름의 가장자리에서 관찰된 격자 줄무늬는 ReS₂의 층간 간격에 해당하는 0.63 nm의 격자 거리를 나타낸다.

[0060] 도 12 내지 도 14는 실험에 1의 ReS₂ 박막의 XPS 스펙트럼들이다.

[0061] 도 12는 ReS₂의 원소 조성 및 결합 유형을 보여 준다. 또한, Re 및 S의 신호가 명확하게 식별되는 것을 알 수 있다. Si와 O는 SiO₂ 기판에서 유래한 것이며, C는 XPS 측정을 위한 전처리에서 발생되었다. 도 13은 핵 형성 촉진 ReS₂박막에 대한 Re_{4f}의 XPS 스펙트럼이고, 도 14는 S_{2p}의 XPS 스펙트럼이다. Re 신호의 경우, ~ 40.5 및 ~ 43 eV에 위치한 두 개의 피크는 각각 Re의 4f_{7/2} 및 4f_{5/2} 코어 레벨 피크이다. ~ 161.5 및 ~ 162.5 eV에서의 두 피크는 각각 S의 2P_{3/2} 및 2P_{1/2} 코어 레벨 피크를 나타낸다. 따라서, 실험에 1에서 합성된 ReS₂박막에서 33.69% Re 및 66.31% S가 관찰되었으며, 이는 ReS₂박막표면에서의 S/Re의 원자 비가 대략 1.97임을 나타낸다.

[0062] 이 결과는 화학 기상 증착 공정에 의해 성장된 ReS₂가 화학 양론적으로 합리적임을 나타내는 것이다.

[0064] 실험에 2_ 광 검출기

[0065] 광 검출기는 SiO₂/Si 기판 상에 ReS₂박막을 액티브층으로, Ti/Au (3nm/30nm)를 전극으로 갖도록 직접적으로 제작되었다. 채널 길이는 2 μm 이고, 채널 너비는 100 μm 이다. 도 15는 실험에 2의 광 검출기의 현미경 이미지이다.

[0066] 도 16은 실험에 2의 광 검출기를 파장에 따른 광응답 특성을 나타내는 그래프이다. 도 15에 도시된 바와 같이, 개별 레이저 소스를 사용하여 도 16에서 스펙트럼 응답 특성을 보여준다.

[0067] 도 16에서, ReS₂박막 기반의 광 검출기의 광응답 특성을 조사하기 위해 2V의 바이어스에서 20nm 간격으로 410 내지 870nm의 파장 범위에서 광 검출기의 R_λ 값을 나타낸다. 보는 바와 같이, ReS₂ 박막이 530 nm 파장 근처에서 가장 감광성이다. 응답 특성은 $R_\lambda = I_{ph}/P \cdot S$ 로 정의되는데, 이는 광 검출기의 활성층의 면적(S)에 영향을 미치는 광학 전력 밀도(P)에 대한 생성된 광전류($I_{ph} = I_{light} - I_{dark}$)의 비율이다. I_{ph}, P, 및 S는 4.02 nA, 0.09 mWcm⁻², 및 200 μm^2 이다. 따라서, 실험에 2의 광 검출기에 대해 계산된 R_λ의 최대값은 532 nm 입사 레이저 하에서 21.05 AW⁻¹이었다.

[0068] 도 17은 암흑 및 조명 조건 하에서 실험에 2의 광 검출기의 I-V 그래프이다.

[0069] 도 17은 2.90mWcm⁻²의 출력 강도로 532nm 입사 레이저에서 광전류와 암전류를 비교한 것이다. 실험에 2의 광 검출기의 I-V 곡선은 2V의 인가된 바이어스 전압에서 조명 하에서 광 검출기를 가로 지르는 전류가 154.20에서 163.26 nA로 증가한 것을 보여준다. I-V 곡선의 약간의 비대칭은 비대칭 쇼트 키 접합부의 형성으로 인한 것일 수 있다.

[0070] 도 18은 실험에 2의 광 검출기의 시간 의존적 광 응답을 나타내는 도면이다.

[0071] 도 18은 약 10 의 입사광 온/오프 사이클을 갖는 광 검출기의 사이클들 사이 응답을 나타낸다. 온/오프 스위칭 특성은 여러 사이클에 걸쳐 유지되어 우수한 광 검출기 안정성과 재현성을 의미하는 것이다.

[0072] 도 19 및 도 20은 실험예 2의 광 검출기의 상승/감소 시간을 나타내는 그래프이다.

[0073] 도 19 및 도 20을 참조하면, 전류가 안정된 값의 10 %에서 90 %로 증가/감소하는 시간으로 정의된 광 검출기의 상승/감소 시간은 0.03 및 0.025 초인 것을 알 수 있다.

[0075] 이하에서는 실험예 2에서 제작된 광 검출기와, 다른 기판 종류 또는 다른 증착 공정으로 제작된 광 검출기들의 성능을 비교하기로 한다.

[0076] 상세한 내용은 하기의 표 1을 참조하기로 한다.

표 1

구조(결정상태)	증착법	크기	$V_D(V_G)$	$T_{rise}(s)$	$T_{decay}(s)$	$R_\lambda(AW^{-1})$	소스(광 파워)
ReS ₂ on SiO ₂ (다결정)	CVD	$>1cm^2$	2V (-)	0.03	0.025	21.05	532nm (0.09mWcm ⁻²)
Bilayer ReS ₂ on Sapphire(다결정)	CVD	$>1cm^2$	0.5V (-)	5.5	11.7	4×10^{-3}	500nm (3.11mWcm ⁻²)
ReS ₂ on mica (다결정)	CVD	$>1cm^2$	1V (-)	17.8	14.3	0.98	490nm (0.56mWcm ⁻²)
Bilayer ReS ₂ on mica (다결정)	CVD	$>1cm^2$	10V (-)	0.61	1.59	0.217	325nm (17.9mWcm ⁻²)
ReS ₂ flake on mica (단결정)	CVD	$\sim 0.1mm^2$	0.5V (-)	~ 50	~ 50	12	532nm (0.05mWcm ⁻²)
ReS ₂ flake on SiO ₂ (단결정)	CVD	$\sim 25 \mu m^2$	0.05V (-10V)	~ 100	~ 1500	16.14	633nm (25pW)
O ₂ plasma 처리 ReS ₂ (단결정)	박리	$\sim 30 \mu m^2$	5V (30V)	0.67	5.6	2.5×10^{-7}	405nm (5pW)
Few layer ReS ₂ (단결정)	박리	$\sim 50 \mu m^2$	4V (-50V)	~ 100	~ 500	88600	532nm (6pW)
Multilayer ReS ₂ (단결정)	박리	$\sim 1.5 \mu m^2$	1V (80V)	0.05	0.05	4	633nm (140mWcm ⁻²)

[0078] 표 1을 참조하면, 본 발명의 실험예 2(CVD로 증착된 SiO₂상에 다결정의 ReS₂)의 ReS₂박막을 갖는 광 검출기가 다른 광 검출기들과 비교하였을 때 가장 높은 광 응답 속도 중 하나를 확인했다. 실험예 2의 ReS₂박막은 대면적($>1cm^2$)으로 성장 될 뿐만 아니라 전사 공정 없이 SiO₂상에서 직접 합성된 것이다. 광 반응성 R_λ 는대면적필름중에서가장높았다. 응답 시간은 박리된 박편의 반응 시간에 필적하고, 트랩 상태가 거의 없는 박막 품질을 확인하여 광 발생된 캐리어들의 이동이 늦춰진다. 따라서, 상기 광 검출기에서 발생된 캐리어들의 이동이 감소하게 되어, 캐리어 드리프트 속도가 증가한다.

[0079] 도 21 및 도 22는 실험예 2의 광 검출기의 광 응답 속도를 나타내는 그래프들이다.

[0080] 도 21은 2.90mWcm⁻²의 전력 밀도에서 서로 다른 바이어스 하에서 라이트 온/오프에 응답한 실험예 2의 광 검출기의 사이클 간 응답 곡선을 보여준다. 광 반응성 값은 각각 1V, -1V, 3V 및 -3V의 바이어스에서 0.78, 0.70, 2.55 및 2.38 AW⁻¹에서 계산되었다. 광 검출기의 안정적인 작동을 위해 광 파워의 변화에 반응해야 한다.

[0081] 도 22는 2V의 바이어스에서 다양한 광 출력 밀도 하에서 실험예 2의 광 검출기의 사이클 간 응답을 보여준다. 감광도 값은 8.21, 21.05, 12.21 및 1.39 AW⁻¹에서 계산되었다. 전력 밀도는 각각 0.05, 0.09, 0.27 및

2.90mWcm^{-2} 이다.

[0082] 도 23 내지 도 25는 실험예 2의 광 검출기의 작동 메커니즘을 설명하는 도면들이다.

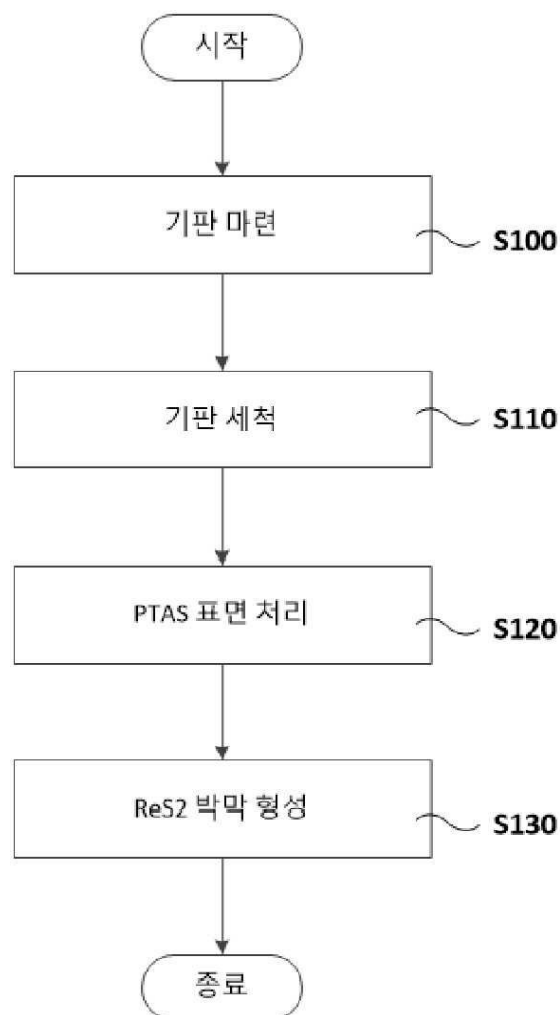
[0083] 쇼트 키 접합은 효율적인 광 검출기로 사용될 수 있다. 광전자 쌍을 쉽게 분리 할 수도 있다. 도 23에서 볼 수 있듯이 접촉 금속의 일 함수와 본질적으로 n 형 ReS_2 필름의 전도 대역 가장자리의 차이는 쇼트 키 장벽을 형성한다. 도 24를 참조하면, 쇼트 키 장벽은 조명 없이 핫전자의 움직임을 억제하여 암전류를 낮춘다. 도 25를 참조하면, 조명이 있을 때 소스-드레인 바이어스를 적용하면 전극 사이에서 광 생성 캐리어가 효과적으로 구동하는 것을 볼 수 있다.

[0084] 이와 같이, 합성된 ReS_2 박막의 낮은 트랩 밀도는 캐리어 운송 시간의 감소 및 캐리어 드리프트 속도를 증가시키는 것을 알 수 있다.

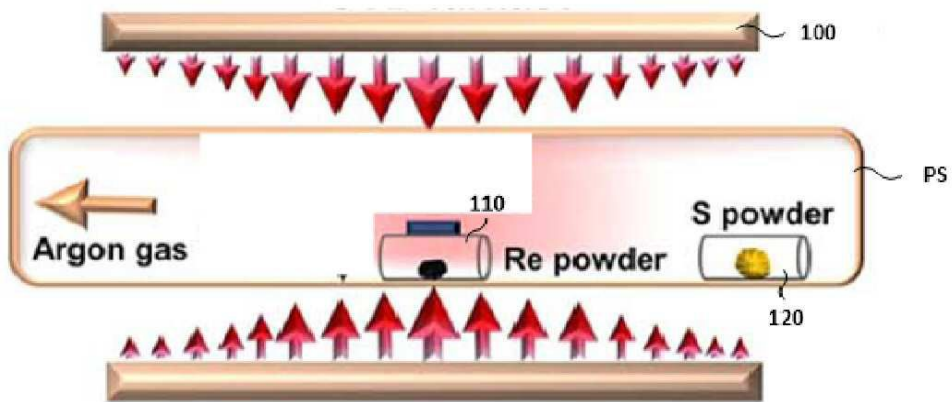
[0085] 이상, 첨부된 도면을 참조하여 본 발명의 실시 예를 설명하였지만, 본 발명이 속하는 기술분야에서 통상의 지식을 가진 자는 본 발명이 그 기술적 사상이나 필수적인 특징을 변경하지 않고서 다른 구체적인 형태로 실시될 수 있다는 것을 이해할 수 있을 것이다. 그러므로 이상에서 기술한 실시 예에는 모든 면에서 예시적인 것이며 한정적이 아닌 것으로 이해해야만 한다.

도면

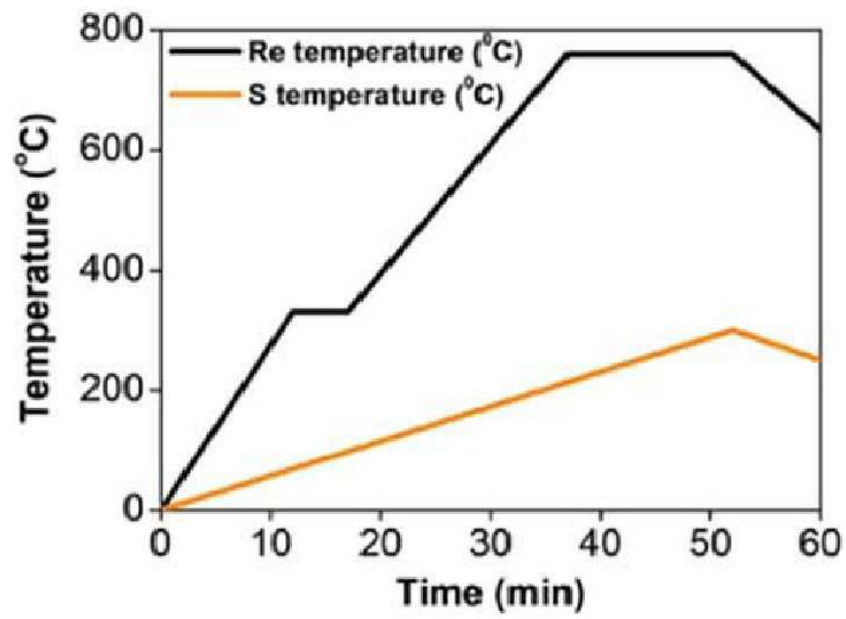
도면1



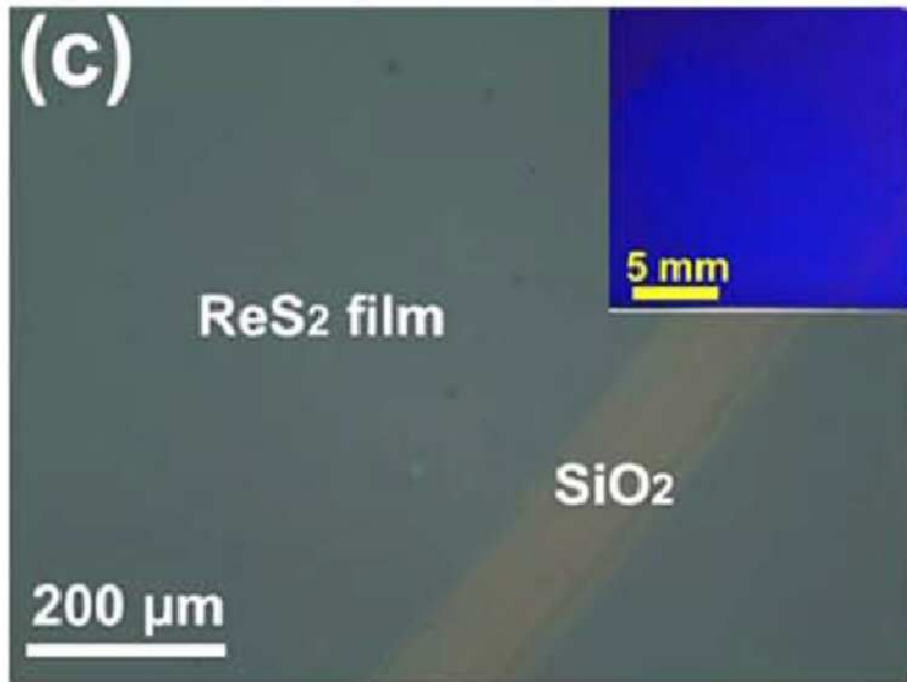
도면2



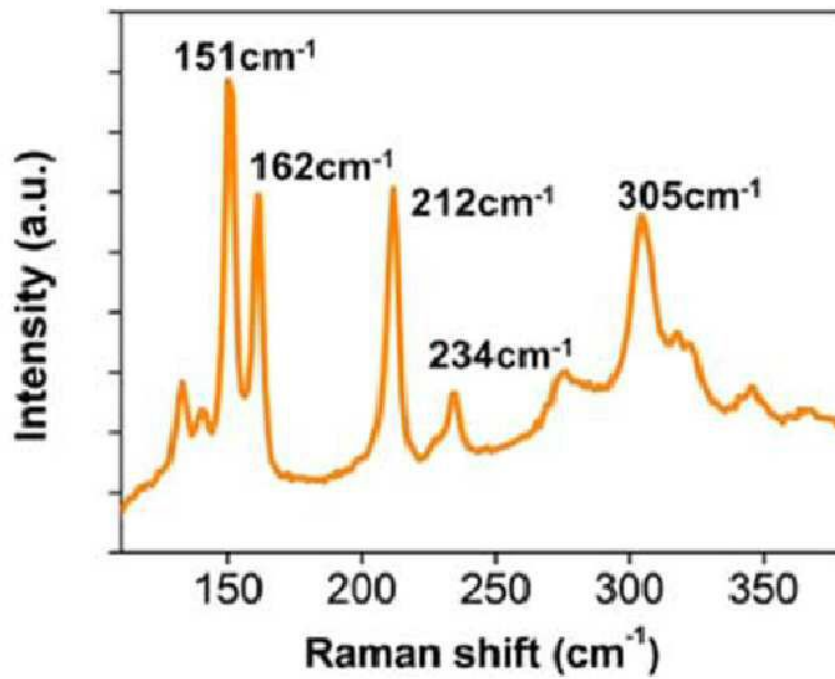
도면3



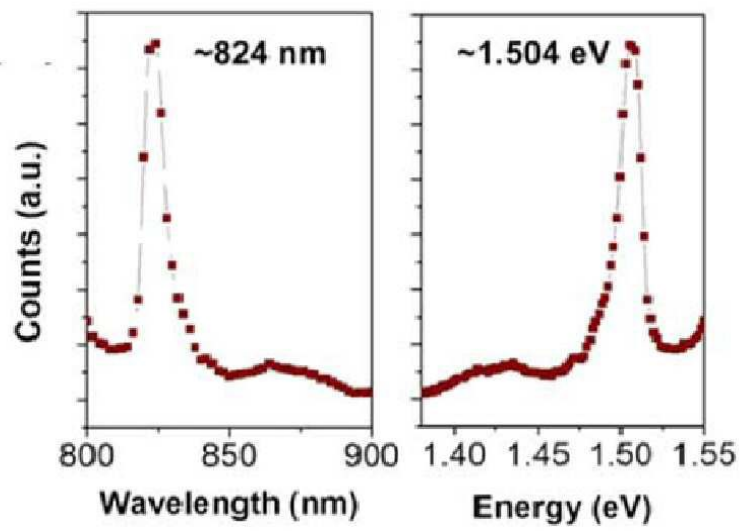
도면4



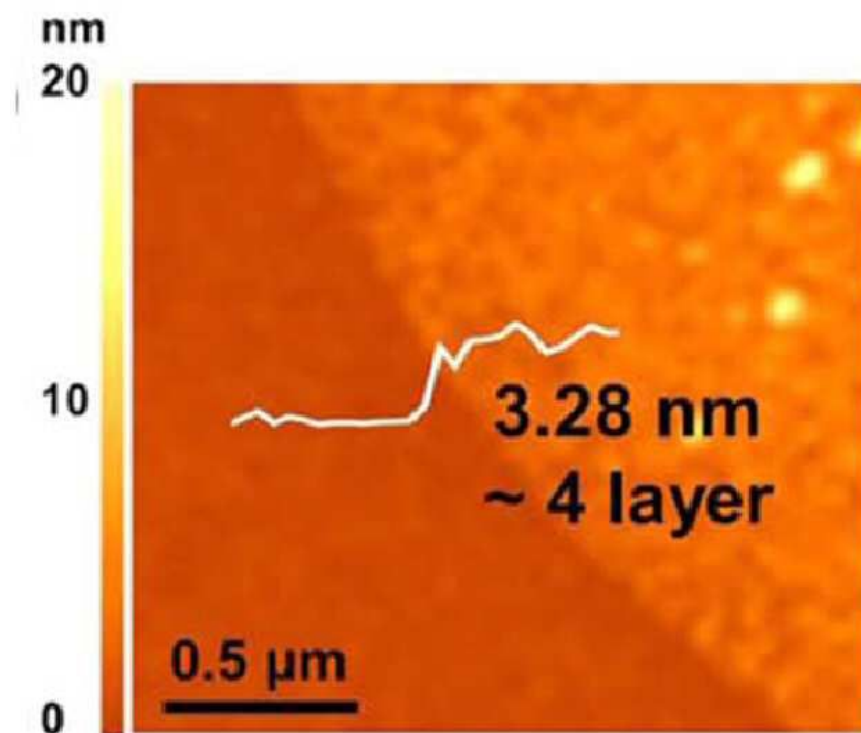
도면5



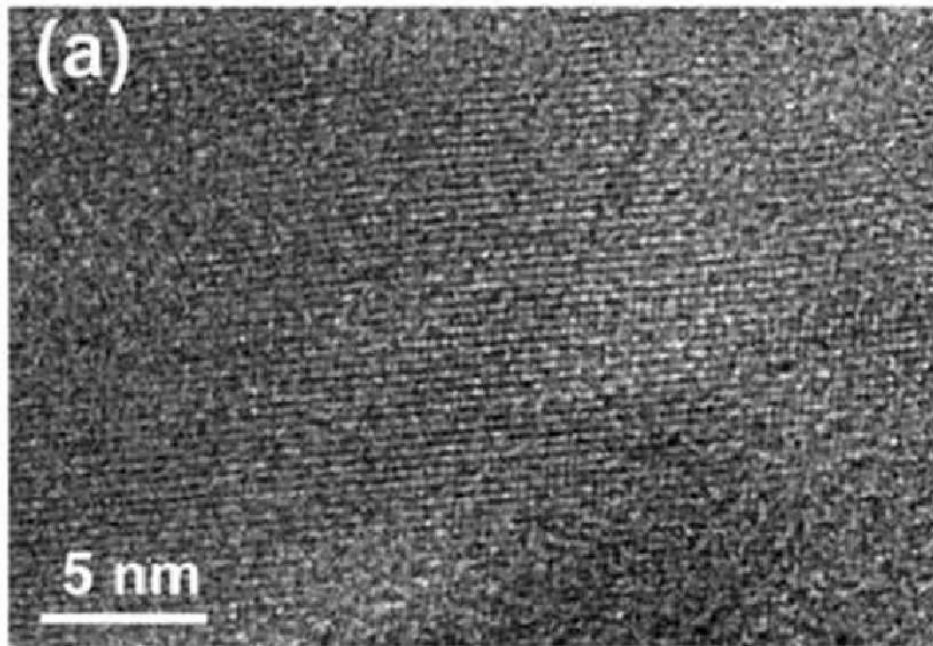
도면6



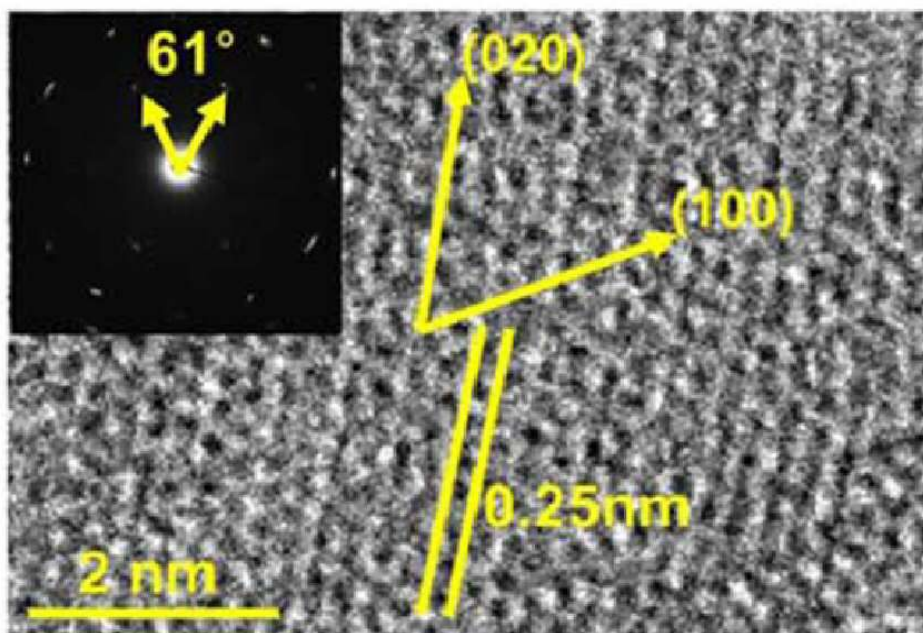
도면7



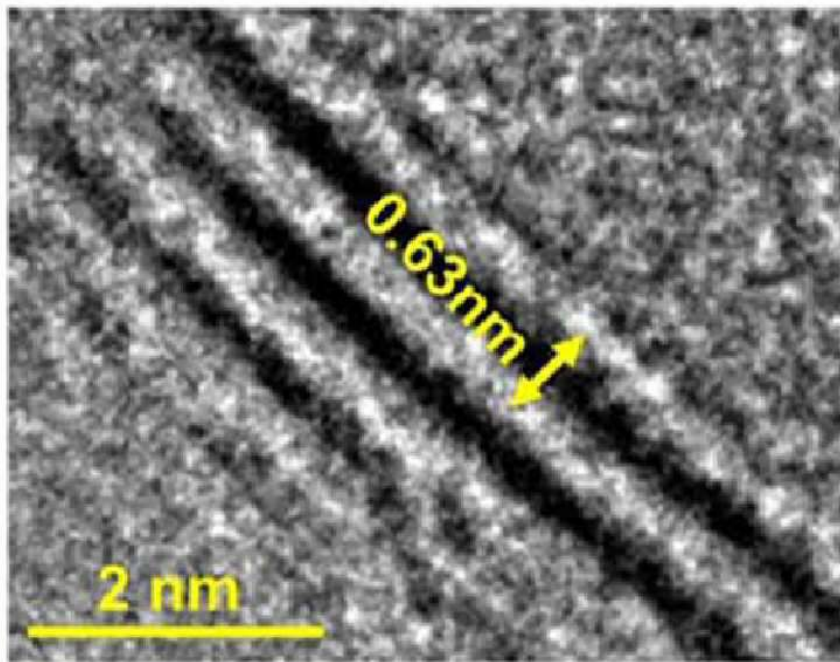
도면8



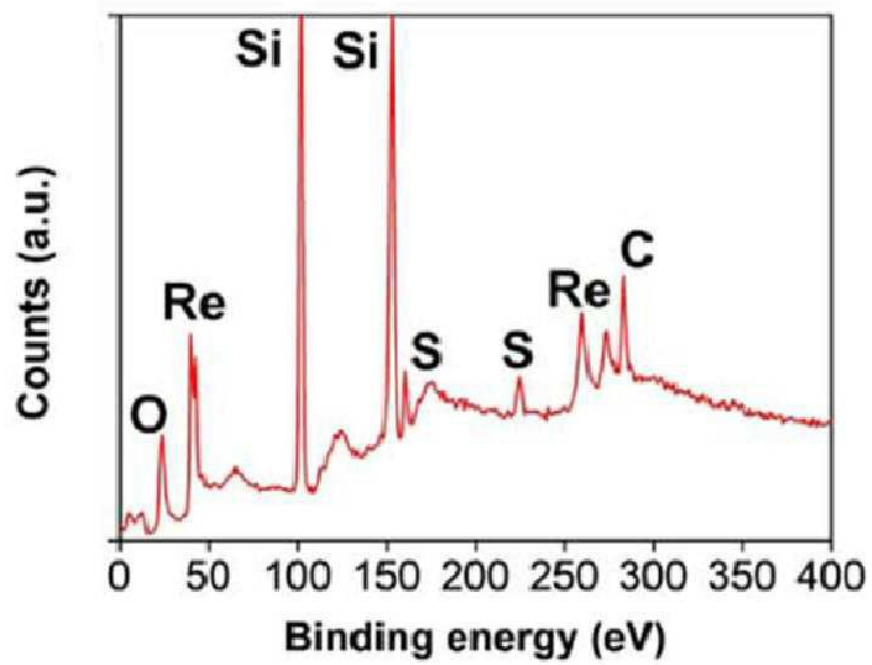
도면9



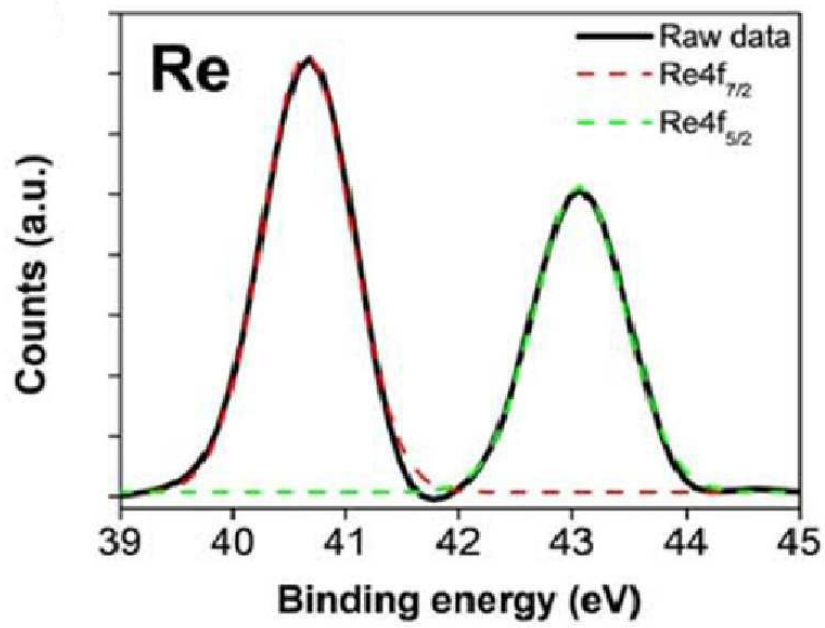
도면10



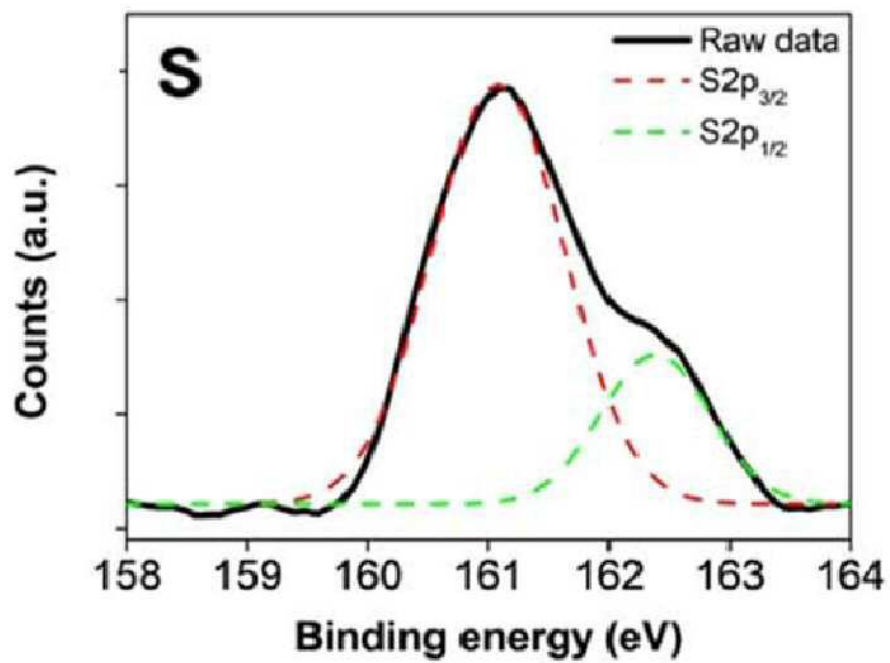
도면11



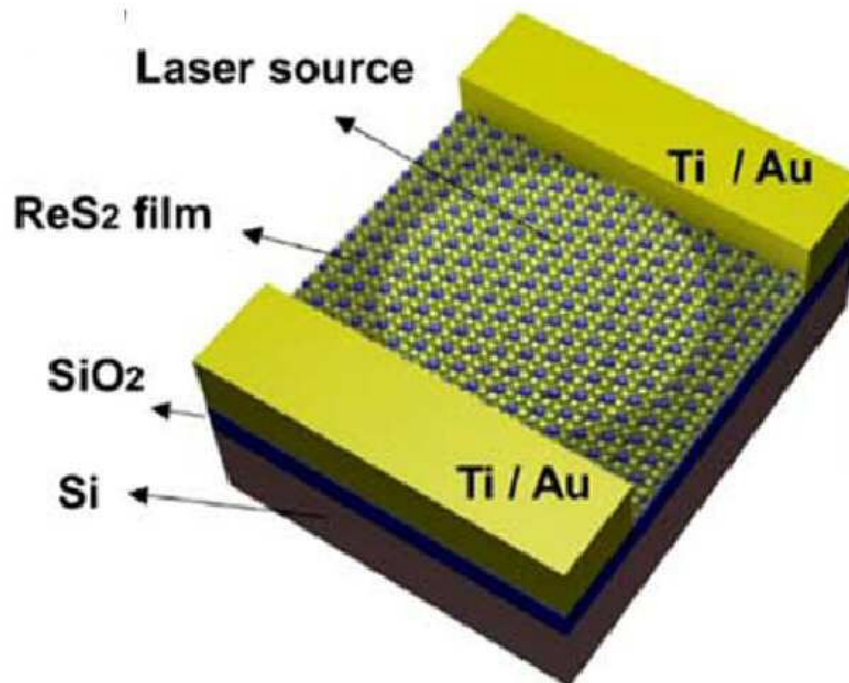
도면12



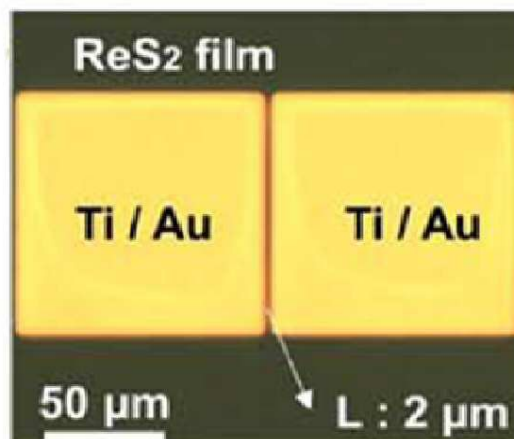
도면13



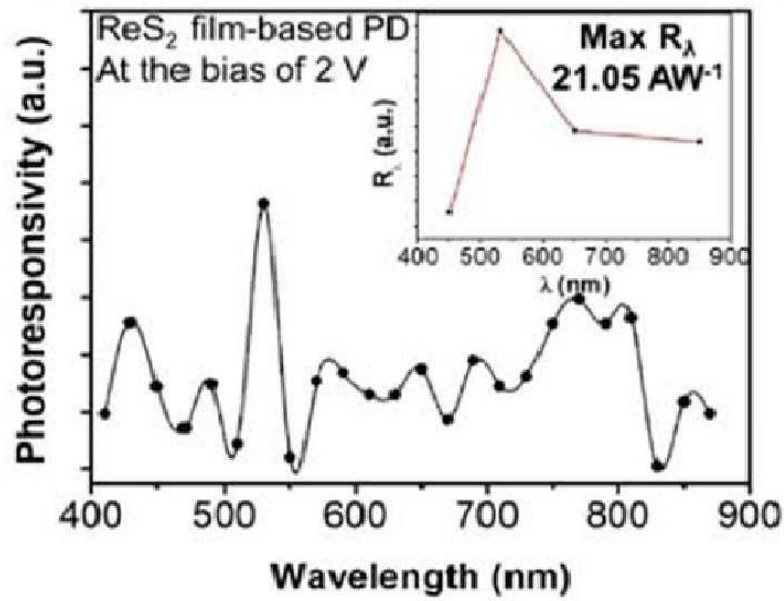
도면14



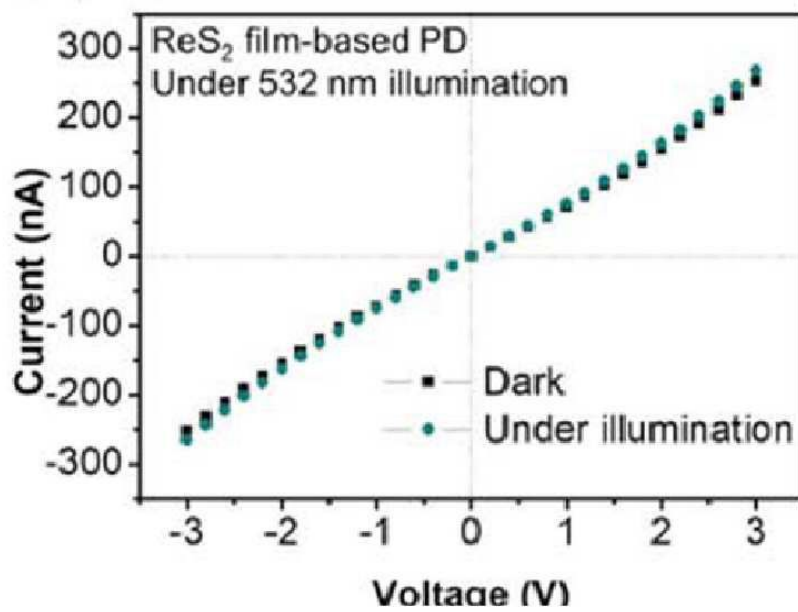
도면15



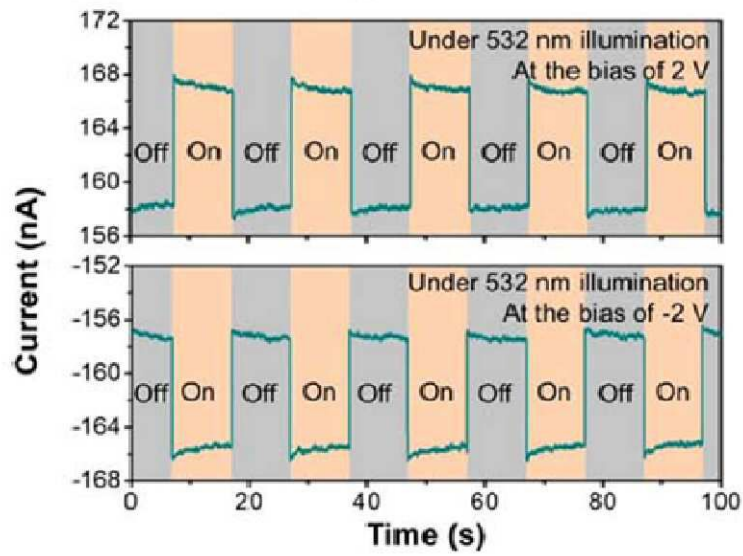
도면16



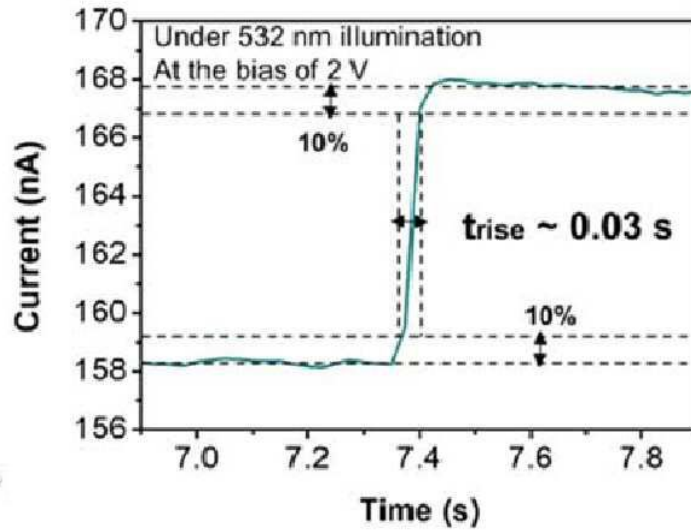
도면17



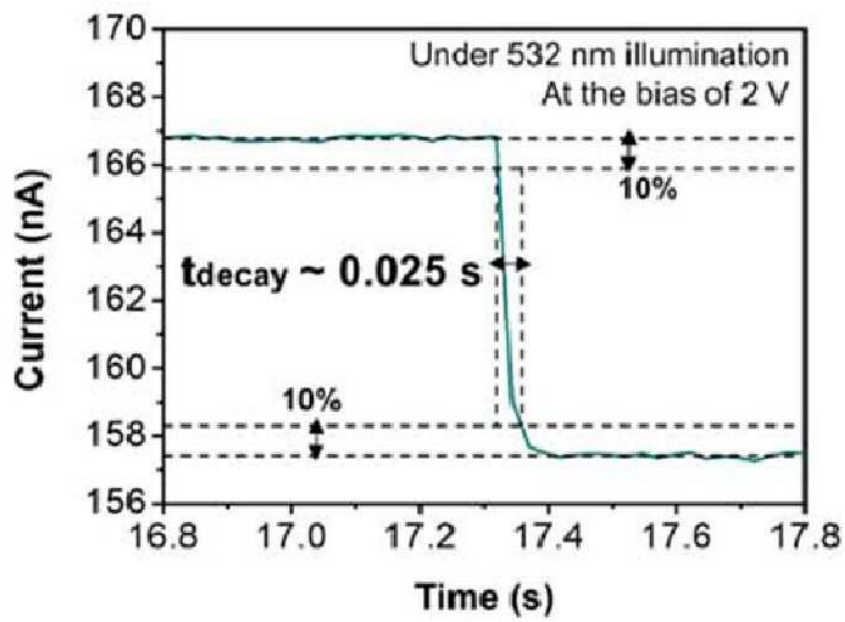
도면18



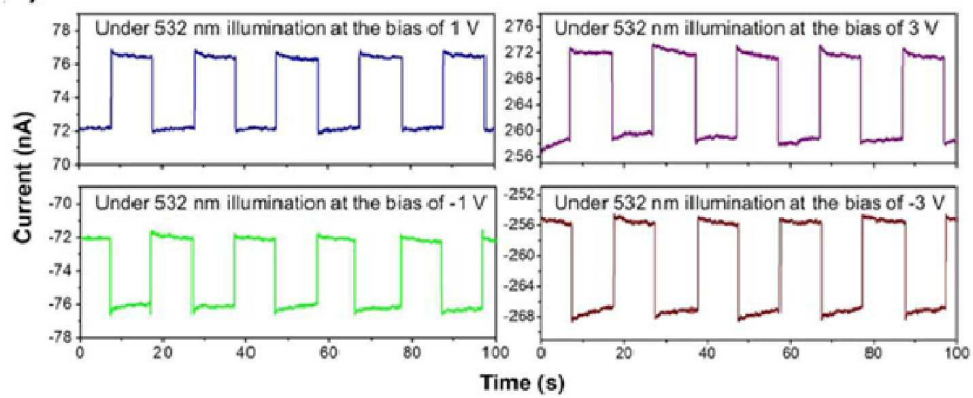
도면19



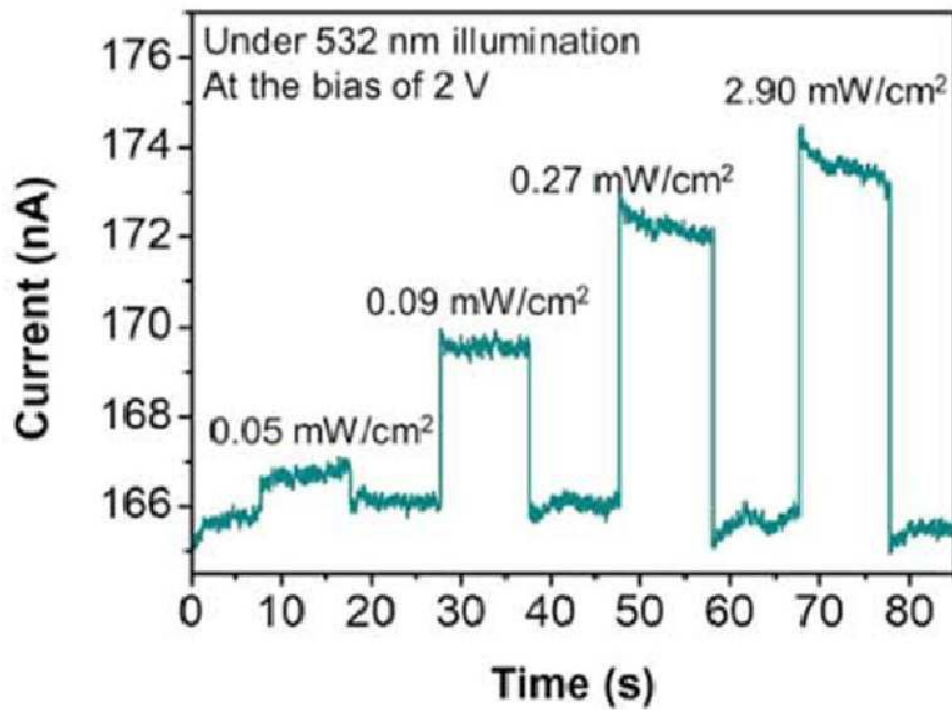
도면20



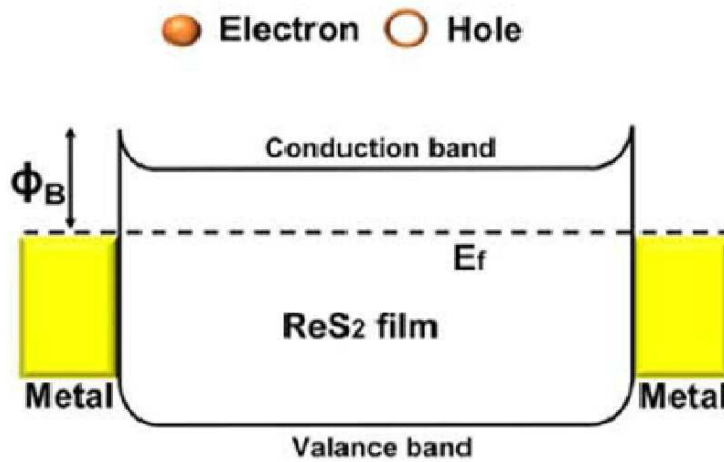
도면21



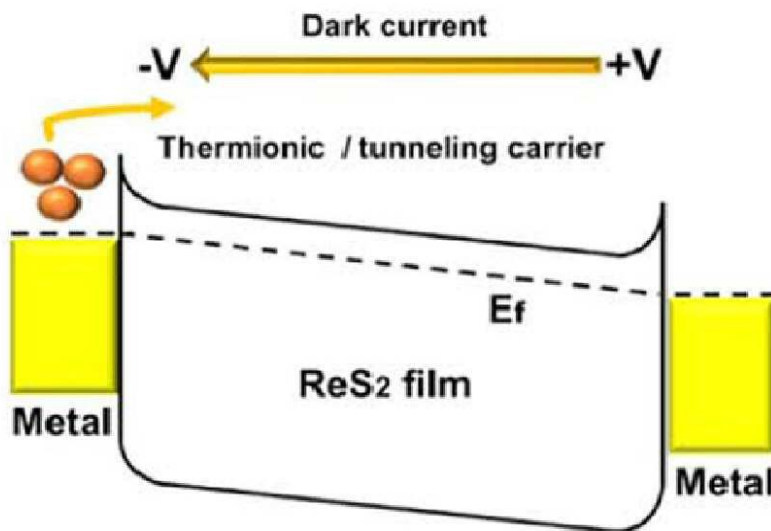
도면22



도면23



도면24



도면25

