(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2019-0085682
(43) 공개일자 2019년07월19일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
H01L 31/08 (2006.01) *H01L 31/032* (2006.01)
H01L 31/0392 (2006.01) *H01L 31/18* (2006.01)
(52) CPC특허분류
H01L 31/08 (2013.01)
H01L 31/032 (2013.01)
(21) 출원번호 10-2018-0003856
(22) 출원일자 2018년01월11일
심사청구일자 2018년01월11일

(71) 출원인
인천대학교 산학협력단
인천광역시 연수구 아카데미로 119 (송도동)
(72) 발명자
김준동
인천광역시 연수구 컨벤시아대로274번길 15, 2304동 1001호(송도동, 송도 더샵 마스터뷰 23-1BL)
김홍식
충청남도 천안시 동남구 터미널9길 59, 201동 401호 (신부동, 대림한들아파트)
(74) 대리인
특허법인가산

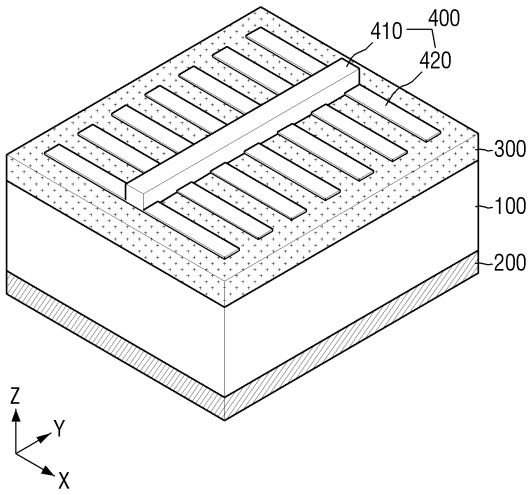
전체 청구항 수 : 총 19 항

(54) 발명의 명칭 **포토 디텍터 및 그 제조 방법**

(57) 요 약

포토 디텍터 및 그 제조 방법을 제공한다. 상기 포토 디텍터는 기판, 상기 기판 상에 형성되고, 수직 방향으로 성장된 황화 몰리브덴막, 상기 황화 몰리브덴막 상에 형성되는 상부 컨택 및 상기 기판 아래에 형성되는 하부 컨택을 포함한다.

대 표 도 - 도1



(52) CPC특허분류
H01L 31/0392 (2013.01)
H01L 31/18 (2013.01)

이 발명을 지원한 국가연구개발사업
과제고유번호 201502440002
부처명 미래창조과학부
연구관리전문기관 한국연구재단
연구사업명 일반연구자사업
연구과제명 산화물 반도체 기반의 투명 태양전지를 이용한 창조적 생태에너지 순환시스템
기 여 율 1/2
주관기관 인천대학교
연구기간 2016.11.01 ~ 2017.10.31
이 발명을 지원한 국가연구개발사업
과제고유번호 201302400002
부처명 산업통상자원부
연구관리전문기관 한국에너지기술평가원
연구사업명 에너지기술개발사업
연구과제명 투명 전도체 나노 렌즈를 이용한 태양전지 성능 향상 기술개발(RCMS)
기 여 율 1/2
주관기관 인천대학교
연구기간 2015.11.01 ~ 2016.10.31

명 세 서

청구범위

청구항 1

기판;

상기 기판 상에 형성되고, 수직 방향으로 성장된 황화 몰리브덴막;

상기 황화 몰리브덴막 상에 형성되는 상부 컨택; 및

상기 기판 아래에 형성되는 하부 컨택을 포함하는 포토 디텍터.

청구항 2

제1 항에 있어서,

상기 황화 몰리브덴막은 MoS_2를 포함하는 포토 디텍터.

청구항 3

제1 항에 있어서,

상기 기판은 Si을 포함하는 포토 디텍터.

청구항 4

제1 항에 있어서,

상기 하부 컨택은 Al 등의 금속을 포함하는 포토 디텍터.

청구항 5

제1 항에 있어서,

상기 상부 컨택은 Al 등의 금속과, 투명 전도층과, 금속 나노선 중 적어도 하나를 포함하는 포토 디텍터.

청구항 6

제1 항에 있어서,

상기 황화 몰리브덴막은 상면과 측면을 포함하고,

상기 황화 몰리브덴막은 상기 상면으로 성장하되, 상기 측면으로는 성장하지 않는 포토 디텍터.

청구항 7

제1 항에 있어서,

상기 상부 컨택은 그리드 형태로 형성된 포토 디텍터.

청구항 8

서로 반대되는 제1 및 제2 면을 포함하는 기판을 제공하고,

상기 제2 면 상에 하부 컨택을 형성하고,

상기 제1 면 상에 제1 온도로 황화 몰리브덴막을 증착하고,

상기 황화 몰리브덴막 상에 상부 컨택을 형성하는 것을 포함하는 포토 디텍터 제조 방법.

청구항 9

제8 항에 있어서,

상기 기판은 Si을 포함하는 포토 디텍터 제조 방법.

청구항 10

제9 항에 있어서,

상기 기판과 상기 황화 몰리브덴막은 결합하여 정류 접합을 형성하는 포토 디텍터 제조 방법.

청구항 11

제8 항에 있어서,

상기 제1 온도는 상온(room temperature) 내지 600℃인 포토 디텍터 제조 방법.

청구항 12

제8 항에 있어서,

상기 상부 전극 및 상기 하부 전극의 결합을 강화시키는 급속 열처리(rapid thermal process, RTP)를 수행하는 것을 더 포함하는 포토 디텍터 제조 방법.

청구항 13

제12 항에 있어서,

상기 급속 열처리는 제1 시간 동안 수행되고,

상기 제1 시간은 5분 내지 60분인 포토 디텍터 제조 방법.

청구항 14

제12 항에 있어서,

상기 급속 열처리의 온도는 100 내지 1000℃인 포토 디텍터 제조 방법.

청구항 15

제8 항에 있어서,

상기 황화 몰리브덴막을 증착하는 것은,

상기 황화 몰리브덴막을 수직 방향으로 성장시키는 것을 포함하는 포토 디텍터 제조 방법.

청구항 16

제15 항에 있어서,

상기 황화 몰리브덴막은 상기 수직 방향으로 우선 성장하고,

상기 황화 몰리브덴막의 수직 방향의 성장률은 수평 방향의 성장률보다 큰 포토 디텍터 제조 방법.

청구항 17

제8 항에 있어서,

상기 상부 컨택을 형성하는 것은,

상기 상부 컨택을 그리드 형태로 형성하는 것을 포함하는 포토 디텍터 제조 방법.

청구항 18

제8 항에 있어서,

상기 상부 컨택의 수평 면적은 상기 하부 컨택의 수평 면적보다 작은 포토 디텍터 제조 방법.

청구항 19

제8 항에 있어서,

상기 황화 몰리브덴막은 MoS_2를 포함하는 포토 디텍터 제조 방법.

발명의 설명

기 술 분 야

[0001] 본 발명은 포토 디텍터 및 그 제조 방법에 관한 것이다.

배 경 기 술

[0002] 현대 시대에 많이 논의된 연구 자료로서 그래핀(Graphene)은 몇 가지 중요한 특징이 부족하다. 밴드갭(bandgap)이 없다는 것은 그것들 중 하나로, 이러한 결점 때문에 그래핀은 광전자 소자의 잠재적인 재료가 되기 어렵다. 그러나 97% 이상의 투명도, 초박막(1 원자 두께), 높은 전도성 및 1.1 TPa의 영률(Young's modulus)과 같은 그래핀의 뛰어난 특성들이 있어, 그래핀과 같은 반도체 재료를 찾기 위한 연구가 지속되어 왔다.

[0003] 결과적으로, 전이 금속 칼코겐화합물(TMDs; transition metal dichalcogenides) 계열의 뛰어난 구성원인 이황화 몰리브덴(MoS_2)은 자연상에 풍부하고, 구조를 포함한 모든 측면에서 그래핀을 대체할 수 있는 적합한 후보 물질로 확인되었다. 벌크 MoS_2 물질은 똑같이 얇은 2D 층으로 슬라이스할 수 있다. 이러한 각 2D 레이어는 칼코겐의 박막 사이에 끼워진 몰리브덴의 단일 시트로 구성된다.

선행기술문헌

특허문헌

[0004] (특허문헌 0001) 등록특허공보 제 10-1241467호

발명의 내용

해결하려는 과제

[0005] 본 발명이 해결하고자 하는 과제는 동작 성능이 향상된 포토 디텍터를 제공하는 것이다.

[0006] 본 발명이 해결하고자 하는 또 다른 과제는, 동작 성능이 향상된 포토 디텍터의 제조 방법을 제공하는 것이다.

[0007] 본 발명이 해결하고자 하는 과제들은 이상에서 언급한 과제들로 제한되지 않으며, 언급되지 않은 또 다른 과제들은 아래의 기재로부터 당업자에게 명확하게 이해될 수 있을 것이다.

과제의 해결 수단

[0008] 상기 과제를 해결하기 위한 본 발명의 일 실시예에 따른 포토 디텍터는 기판, 상기 기판 상에 형성되고, 수직 방향으로 성장된 황화 몰리브덴막, 상기 황화 몰리브덴막 상에 형성되는 상부 컨택 및 상기 기판 아래에 형성되는 하부 컨택을 포함한다.

[0009] 상기 다른 과제를 해결하기 위한 본 발명의 일 실시예에 따른 포토 디텍터 제조 방법은 서로 반대되는 제1 및 제2 면을 포함하는 기판을 제공하고, 상기 제2 면 상에 하부 컨택을 형성하고, 상기 제1 면 상에 제1 온도로 황화 몰리브덴막을 증착하고, 상기 황화 몰리브덴막 상에 상부 컨택을 형성하는 것을 포함한다.

[0010] 기타 실시예들의 구체적 사항들은 상세한 설명 및 도면들에 포함되어 있다.

발명의 효과

[0011] 본 발명의 일 실시예에 의하면 적어도 다음과 같은 효과가 있다.

[0012] 즉, 본 발명의 몇몇 실시예에 따른 포토 디텍터는 넓은 대역의 빛에 대해서 높은 응답 특성을 가질 수 있다.

[0013] 본 발명의 몇몇 실시예에 따른 포토 디텍터 제조 방법은 온도 가변에 따라서 흡수도를 조율할 수 있다.

[0014] 본 발명에 따른 효과는 이상에서 예시된 내용에 의해 제한되지 않으며, 더욱 다양한 효과들이 본 명세서 내에 포함되어 있다.

도면의 간단한 설명

[0015] 도 1은 본 발명의 몇몇 실시예들에 따른 포토 디텍터를 설명하기 위한 사시도이다.

도 2는 본 발명의 몇몇 실시예들의 따른 실제 제작된 포토 디텍터의 이미지이다.

도 3은 도 2의 포토 디텍터의 단면을 나타내는 FESEM(Field Emission Scanning Electron Microscope) 이미지이다.

도 4 내지 도 8은 본 발명의 몇몇 실시예들에 따른 포토 디텍터 제조 방법을 설명하기 위한 중간 단계 도면들이다.

도 9는 본 발명의 실시예 1 내지 3의 실제 제작된 이미지를 나타내는 이미지이다.

도 10은 본 발명의 몇몇 실시예들의 3인치 실리콘 웨이퍼 상에 형성된 MoS_2 막을 나타낸 이미지이다.

도 11은 본 발명의 실시예 1 내지 3의 MoS_2 막의 XRD(X-ray diffraction) 프로파일이다.

도 12는 본 발명의 실시예 1의 MoS_2 막의 표면 형태를 나타낸 FESEM 이미지이다.

도 13은 본 발명의 실시예 2의 MoS_2 막의 표면 형태를 나타낸 FESEM 이미지이다.

도 14는 본 발명의 실시예 3의 MoS_2 막의 표면 형태를 나타낸 FESEM 이미지이다.

도 15는 본 발명의 실시예 1 내지 3의 MoS_2 막의 파장에 따른 흡수도를 나타낸 그래프이다.

도 16은 본 발명의 실시예 3의 포토 디텍터의 455nm의 파장에서의 광반응을 나타낸 도면이다.

도 17은 본 발명의 실시예 3의 포토 디텍터의 515nm의 파장에서의 광반응을 나타낸 도면이다.

도 18은 본 발명의 실시예 3의 포토 디텍터의 620nm의 파장에서의 광반응을 나타낸 도면이다.

도 19는 본 발명의 실시예 3의 포토 디텍터의 파장에 대한 라이즈 타임 및 폴 타임을 정리한 표이다.

도 20은 본 발명의 실시예 3의 포토 디텍터와 기존의 포토 디텍터와의 특성을 비교한 표이다.

도 21은 본 발명의 실시예 3의 포토 디텍터의 블루 컬러의 입사광에 대해서 빛의 세기에 따른 광전류를 도시한 그래프이다.

도 22는 본 발명의 실시예 3의 포토 디텍터의 그린 컬러의 입사광에 대해서 빛의 세기에 따른 광전류를 도시한 그래프이다.

도 23은 본 발명의 실시예 3의 포토 디텍터의 레드 컬러의 입사광에 대해서 빛의 세기에 따른 광전류를 도시한 그래프이다.

도 24는 본 발명의 실시예 3의 포토 디텍터의 455nm의 파장에서의 응답도 및 검출능을 나타낸 도면이다.

도 25는 본 발명의 실시예 3의 포토 디텍터의 515nm의 파장에서의 응답도 및 검출능을 나타낸 도면이다.

도 26은 본 발명의 실시예 3의 포토 디텍터의 620nm의 파장에서의 응답도 및 검출능을 나타낸 도면이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0016] 본 발명의 이점 및 특징, 그리고 그것들을 달성하는 방법은 첨부되는 도면과 함께 상세하게 후술되어 있는 실시예들을 참조하면 명확해질 것이다. 그러나 본 발명은 이하에서 개시되는 실시예들에 한정되는 것이 아니라 서로 다른 다양한 형태로 구현될 것이며, 단지 본 실시예들은 본 발명의 개시가 완전하도록 하며, 본 발명이 속하는 기술분야에서 통상의 지식을 가진 자에게 발명의 범주를 완전하게 알려주기 위해 제공되는 것이며, 본 발명은

청구항의 범주에 의해 정의될 뿐이다. 명세서 전체에 걸쳐 동일 참조 부호는 동일 구성 요소를 지칭한다.

[0017] 비록 제1, 제2 등이 다양한 소자, 구성요소 및/또는 섹션들을 서술하기 위해서 사용되나, 이들 소자, 구성요소 및/또는 섹션들은 이들 용어에 의해 제한되지 않음은 물론이다. 이들 용어들은 단지 하나의 소자, 구성요소 또는 섹션들을 다른 소자, 구성요소 또는 섹션들과 구별하기 위하여 사용하는 것이다. 따라서, 이하에서 언급되는 제1 소자, 제1 구성요소 또는 제1 섹션은 본 발명의 기술적 사상 내에서 제2 소자, 제2 구성요소 또는 제2 섹션일 수도 있음은 물론이다.

[0018] 소자(elements) 또는 층이 다른 소자 또는 층의 "위(on)" 또는 "상(on)"으로 지칭되는 것은 다른 소자 또는 층의 바로 위뿐만 아니라 중간에 다른 층 또는 다른 소자를 개재한 경우를 모두 포함한다. 반면, 소자가 "직접 위(directly on)" 또는 "바로 위"로 지칭되는 것은 중간에 다른 소자 또는 층을 개재하지 않은 것을 나타낸다.

[0019] 공간적으로 상대적인 용어인 "아래(below)", "아래(beneath)", "하부(lower)", "위(above)", "상부(upper)" 등은 도면에 도시되어 있는 바와 같이 하나의 소자 또는 구성 요소들과 다른 소자 또는 구성 요소들과의 상관관계를 용이하게 기술하기 위해 사용될 수 있다. 공간적으로 상대적인 용어는 도면에 도시되어 있는 방향에 더하여 사용시 또는 동작시 소자의 서로 다른 방향을 포함하는 용어로 이해되어야 한다. 예를 들면, 도면에 도시되어 있는 소자를 뒤집을 경우, 다른 소자의 "아래(below 또는 beneath)"로 기술된 소자는 다른 소자의 "위(above)"에 놓여질 수 있다. 따라서, 예시적인 용어인 "아래"는 아래와 위의 방향을 모두 포함할 수 있다. 소자는 다른 방향으로도 배향될 수 있으며, 이 경우 공간적으로 상대적인 용어들은 배향에 따라 해석될 수 있다.

[0020] 본 명세서에서 사용된 용어는 실시예들을 설명하기 위한 것이며 본 발명을 제한하고자 하는 것은 아니다. 본 명세서에서, 단수형은 문구에서 특별히 언급하지 않는 한 복수형도 포함한다. 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.

[0021] 다른 정의가 없다면, 본 명세서에서 사용되는 모든 용어(기술 및 과학적 용어를 포함)는 본 발명이 속하는 기술분야에서 통상의 지식을 가진 자에게 공통적으로 이해될 수 있는 의미로 사용될 수 있을 것이다. 또 일반적으로 사용되는 사전에 정의되어 있는 용어들은 명백하게 특별히 정의되어 있지 않는 한 이상적으로 또는 과도하게 해석되지 않는다.

[0022] 이하, 도 1 내지 도 3을 참조하여 본 발명의 몇몇 실시예에 따른 포토 디텍터를 설명한다.

[0023] 도 1은 본 발명의 몇몇 실시예들에 따른 포토 디텍터를 설명하기 위한 사시도이고, 도 2는 본 발명의 몇몇 실시예들의 따른 실제 제작된 포토 디텍터의 이미지이다. 도 3은 도 2의 포토 디텍터의 단면을 나타내는 FESEM(Field Emission Scanning Electron Microscope) 이미지이다.

[0024] 도 1 내지 도 3을 참조하면, 본 발명의 몇몇 실시예에 따른 포토 디텍터는 기판(100), 하부 컨택(200), 상부 컨택(400) 및 황화 몰리브덴막(300)을 포함한다.

[0025] 기판(100)은 실리콘 기판일 수 있다. 기판(100)은 p형 실리콘 기판일 수 있다. 기판(100)은 제1 방향(X) 및 제2 방향(Y)의 측면과 제3 방향(Z)의 상면 및 하면을 포함할 수 있다. 이 때, 제1 방향(X), 제2 방향(Y) 및 제3 방향(Z)은 서로 교차하는 방향이고, 서로 직교하는 방향일 수 있다. 따라서, 제1 방향(X), 제2 방향(Y) 및 제3 방향(Z)은 서로 오소고날(orthogonal)한 방향일 수 있다.

[0026] 기판(100)은 서로 반대되는 제1 면과 제2 면을 포함할 수 있다. 상기 제1 면 및 제2 면은 제3 방향(Z)에서 서로 반대되는 방향일 수 있다. 따라서, 도 1에서 기판(100)의 상기 제1 면은 상면이고, 기판(100)의 상기 제2 면은 하면일 수 있다.

[0027] 기판(100)의 상면은 실리콘의 (100)평면일 수 있다. 기판(100)의 상면이 실리콘의 (100)평면임에 따라서, 추후에 황화 몰리브덴막(300)이 수직 방향으로 성장할 수 있다.

[0028] 기판(100)의 두께는 상부 및 하부 구조를 지지할 수 있도록 충분히 두꺼울 수 있다. 예를 들어, 기판(100)의 두께는 100 내지 1000㎛일 수 있다. 단, 본 실시예가 이에 제한되는 것은 아니다.

[0029] 하부 컨택(200)은 기판(100)의 상기 제2 면 즉, 하면에 형성될 수 있다. 하부 컨택(200)은 금속 컨택일 수 있다. 하부 컨택(200)은 예를 들어, Al을 포함할 수 있다. 단, 본 실시예가 이에 제한되는 것은 아니다. 하부 컨택(200)은 기판(100)의 하면을 덮을 수 있다. 구체적으로, 기판(100)의 하면은 입사광을 수신하는 방향이 아니므로 하부 컨택(200)에 의해서 커버되어도 상관없을 수 있다.

[0030] 하부 컨택(200)은 예를 들어, 50 내지 500nm의 두께로 형성될 수 있다. 단, 본 실시예가 이에 제한되는 것은 아니다. 하부 컨택(200)은 기판(100)과 황화 몰리브덴막(300)에 의해서 생성된 전류를 외부로 전달하기에 충분한 두께로 형성될 수 있다. 하부 컨택(200)이 너무 두꺼우면 저항이 커질 수 있다.

[0031] 황화 몰리브덴막(300)은 기판(100)의 상기 제1 면, 즉, 상면에 형성될 수 있다. 황화 몰리브덴막(300)은 MoS_2를 포함할 수 있다. 황화 몰리브덴막(300)은 수직 방향으로 성장된 MoS_2 막일 수 있다. 구체적으로, MoS_2는 2차원(2D; 2-dimension) 물질이고, 2차원 물질은 평면 방향으로만 우선 성장하는 특성을 가지고 있다. 즉, 성장 방향이 2차원 평면을 이루므로 성장 방향과 수직한 방향으로는 상기 평면 방향과 같은 성장을 하지 않는다.

[0032] 황화 몰리브덴막(300)은 제3 방향(Z)으로 성장하는 즉, 수직 성장막일 수 있다. 황화 몰리브덴막(300)은 제3 방향(Z)으로 우선 성장하고, 제1 방향(X) 및 제2 방향(Y) 즉, 수평 방향으로는 성장하지 않거나 더디게 성장할 수 있다. 즉, 황화 몰리브덴막(300)의 수평 방향의 성장률은 수직 방향의 성장률보다 작을 수 있다.

[0033] 황화 몰리브덴막(300)은 수직 성장함으로서 포토 디텍터에 더욱 적합한 특성을 가질 수 있다. 황화 몰리브덴막(300)은 제1 방향(X)의 평면 또는 제2 방향(Y)의 측면에서는 잎 또는 잎들이 모여있는(leaf or leaves) 모양을 가질 수 있다.

[0034] 황화 몰리브덴막(300)은 기판(100) 상에 기판(100)의 상면을 덮도록 형성될 수 있다. 황화 몰리브덴막(300)은 예를 들어, 10 내지 200nm의 두께로 형성될 수 있다. 단, 본 실시예가 이에 제한되는 것은 아니다.

[0035] 황화 몰리브덴막(300)은 기판(100)과 정류 접합(rectifying junction)을 형성할 수 있다.

[0036] 상부 컨택(400)은 황화 몰리브덴막(300)의 상면을 덮도록 형성될 수 있다. 단, 황화 몰리브덴막(300)의 상면은 입사광이 입사되는 방향에 위치하므로 황화 몰리브덴막(300)의 상면을 모두 커버하지 않도록 그리드(grid) 형상을 가질 수 있다. 즉, 상부 컨택(400)에 의해서 황화 몰리브덴막(300)의 상면의 일부가 외부로 노출될 수 있다.

[0037] 상부 컨택(400)은 황화 몰리브덴막(300)의 상면의 입사광이 들어오는 면적을 최대화할 수 있다. 상부 컨택(400)은 바디(410)와 브랜치(420)를 포함할 수 있다.

[0038] 바디(410)는 제2 방향(Y)으로 연장되고, 제1 방향(X) 상에서 상부 컨택(400)의 중심에 위치할 수 있다. 바디(410)는 제1 두께를 가질 수 있다. 예를 들어, 상기 제1 두께는 50 내지 500nm의 두께로 형성될 수 있다. 단, 본 실시예가 이에 제한되는 것은 아니다.

[0039] 바디(410)는 외부와 연결되는 부분일 수 있다. 따라서, 추후에 설명되는 브랜치(420)보다 더 두껍게 형성되어 외부와의 접속을 용이하게 할 수 있다.

[0040] 브랜치(420)는 바디(410)에서 제1 방향(X)으로 연장될 수 있다. 브랜치(420)는 바디(410)를 중심으로 제1 방향(X) 상의 양측으로 연장될 수 있다. 양측으로 연장되는 브랜치(420)는 바디(410)로부터 동일한 길이만큼 연장될 수 있다. 이에 따라서, 상부 컨택(400)의 형상은 바디(410)를 기준으로 제1 방향(X)으로 대칭일 수 있다. 이는 본 발명의 몇몇 실시예들에 따른 포토 디텍터의 전류가 균일하게 전송되게 하기 위함이다.

[0041] 브랜치(420)는 바디(410)의 제1 두께보다 작은 제2 두께를 가질 수 있다. 브랜치(420)는 바디(410) 및 황화 몰리브덴막(300)과 접하고, 외부와는 직접적으로 연결되지 않을 수 있다.

[0042] 본 발명의 몇몇 실시예에 따른 포토 디텍터의 상부 컨택(400)은 Al 등의 금속을 포함할 수 있다. 또한, 본 발명의 몇몇 실시예에 따른 포토 디텍터의 상부 컨택(400)은 Al 등의 금속과, 투명 전도층과, 금속 나노선 중 적어도 하나를 포함할 수 있다. 이 때, 투명 전도층은 ITO 또는 FTO와 같이 투명한 전도체를 포함할 수 있다.

[0043] 도 2는 실제 제작된 포토 디텍터의 이미지이고, 도 3은 도 2의 포토 디텍터의 단면을 나타내는 FESEM 이미지이다.

[0044] 이하, 도 1 및 도 4 내지 도 8을 참조하여, 본 발명의 몇몇 실시예들에 따른 포토 디텍터 제조 방법을 설명한다. 상술한 실시예와 중복되는 설명은 간략히 하거나 생략한다.

[0045] 도 4 내지 도 8은 본 발명의 몇몇 실시예들에 따른 포토 디텍터 제조 방법을 설명하기 위한 중간 단계 도면들이다.

[0046] 먼저, 도 4를 참조하면, 기판(100)을 제공한다.

[0047] 기판(100)은 제3 방향(Z)으로 서로 반대되는 제1 면(101) 및 제2 면(102)을 포함할 수 있다. 도 4에서, 제1 면

(101)은 상면으로 도시되고, 제2 면(102)은 하면으로 도시되었다. 본 발명의 몇몇 실시예들에 따른 포토 디텍터에서는 제1 면(101) 및 제2 면(102)이 각각 하면과 상면일 수도 있다. 편의상, 제1 면(101) 및 제2 면(102)이 각각 상면과 하면인 것을 기준으로 설명한다.

[0048] 기판(100)은 p형 실리콘 기판일 수 있다. 기판(100)의 상면은 실리콘의 (100)평면일 수 있다. 기판(100)은 아세톤 및 증류수를 이용해 초음파 처리로 세정될 수 있다.

[0049] 이어서, 도 5를 참조하면, 기판(100)의 제2 면(102) 상에 하부 컨택(200)을 형성한다.

[0050] 하부 컨택(200)은 Al을 포함할 수 있다. 하부 컨택(200)은 DC 스퍼터링으로 증착될 수 있다. 하부 컨택은 하부 컨택(200)은 기판(100)의 하면을 완전히 덮을 수 있다.

[0051] 이어서, 도 6을 참조하면, 기판(100)의 제1 면(101) 상에 황화 몰리브덴막(300)을 형성한다.

[0052] 황화 몰리브덴막(300)은 MoS_2를 포함할 수 있다. 황화 몰리브덴막(300)은 수직 방향으로 성장된 MoS_2 막일 수 있다. 황화 몰리브덴막(300)은 RF 스퍼터링을 이용하여 증착될 수 있다. 황화 몰리브덴막(300)이 형성되면서, 기판(100)과 황화 몰리브덴막(300)은 정류 접합을 형성할 수 있다.

[0053] 황화 몰리브덴막(300)은 제3 방향(Z)으로 우선 성장하고, 제1 방향(X) 및 제2 방향(Y) 즉, 수평 방향으로는 황화 몰리브덴막(300)이 더디게 성장하거나 성장하지 않을 수 있다. 즉, 황화 몰리브덴막(300)의 제3 방향(Z)의 성장률은 제1 방향(X) 및 제2 방향(Y)의 성장률보다 클 수 있다.

[0054] 황화 몰리브덴막(300)은 제1 온도에서 증착될 수 있다. 이 때, 제1 온도는 상온 내지 600℃일 수 있다. 제1 온도가 달라짐에 따라서, 황화 몰리브덴막(300)의 구조 및 표면 상태가 달라질 수 있다. 이에 따라서, 황화 몰리브덴막(300)의 여러 특성이 달라질 수 있다. 황화 몰리브덴막(300)이 증착되는 동안 기판(100)은 일정한 속도로 회전할 수 있다. 이는 황화 몰리브덴막(300)의 증착을 균일하게 할 수 있다.

[0055] 이어서, 도 7을 참조하면, 황화 몰리브덴막(300) 상에 상부 컨택(400)을 형성한다. 상부 컨택(400)은 그리드 형상을 가질 수 있다. 즉, 상부 컨택(400)에 의해서 황화 몰리브덴막(300)의 일부가 외부로 노출될 수 있다. 상부 컨택(400)은 DC 스퍼터링에 의해서 증착될 수 있다.

[0056] 이어서, 도 8을 참조하면, 본 발명의 몇몇 실시예에 따른 포토 디텍터를 급속 열처리(rapid thermal process, RTP)(50)할 수 있다.

[0057] 급속 열처리(50)는 상부 컨택(400)과 황화 몰리브덴막(300)의 접착을 더욱 견고하게 할 수 있다. 마찬가지로, 급속 열처리(50)는 하부 컨택(200)과 기판(100)의 접착도 더욱 견고하게 할 수 있다.

[0058] 급속 열처리(50)는 제2 온도로 수행될 수 있다. 상기 제2 온도는 100 내지 1000℃일 수 있다. 급속 열처리(50)는 5분 내지 60분 동안 수행될 수 있다.

[0059] 이어서, 도 1을 참조하면, 포토 디텍터가 완성될 수 있다. 이하 실험예들을 통해서 본 발명의 몇몇 실시예들에 따른 포토 디텍터 및 포토 디텍터 제조 방법을 자세히 설명한다.

[0061] **실시예 1-RT**

[0062] p형 실리콘 재질의 기판을 세정하고, 그 하면에 Al 하부 컨택을 형성하였다. 4인치 Al 타겟을 DC 파워 300W로 10분간 DC 스퍼터링하여 Al 하부 컨택을 형성하였다. 이어서, 25W의 RF 스퍼터링을 이용하여 4인치 MoS_2 타겟을 기판의 상면에 30분간 증착시켜 수직 방향의 MoS_2 막 즉, 황화 몰리브덴막을 형성하였다. 이 때, MoS_2 막은 상온(room temperature, RT)에서 증착되었다. MoS_2막의 증착 동안 기판은 5rpm의 일정한 속도로 회전하였다. 이어서, 그리드 형상의 상부 Al 컨택을 MoS_2 막 상에 DC 스퍼터링으로 형성하고, 10분간 500℃로 급속 열처리를 수행하였다.

[0064] **실시예 2-200℃**

[0065] MoS_2 막의 증착 온도를 200℃로 한 것을 제외하고는 실시예 1과 동일하게 제작되었다.

[0067] **실시예 3-400℃**

[0068] MoS_2 막의 증착 온도를 200℃로 한 것을 제외하고는 실시예 1과 동일하게 제작되었다.

[0070] 도 9는 본 발명의 실시예 1 내지 3의 실제 제작된 이미지를 나타내는 이미지이다. 도 9는, 실리콘 기판 상에 형성된 실시예 1 내지 3(좌측)과 유리 기판 상에 각각 상온, 200℃ 및 400℃의 온도에서 MoS_2 막이 형성된 실시예(우측)를 보여준다.

[0071] 도 10은 본 발명의 몇몇 실시예들의 3인치 실리콘 웨이퍼 상에 형성된 MoS_2 막을 나타낸 이미지이다. MoS_2 막의 스퍼터링은 3인치 웨이퍼 상에 대면적 기법으로 성공적으로 수행될 수 있다.

[0073] **실험예 1**

[0074] MoS2 막의 구조적 특성을 알아보기 위해서, 실시예 1 내지 3의 XRD(X-ray diffraction)를 수행하고, 표면 형태를 FESEM으로 촬영하였다.

[0075] 도 11은 본 발명의 실시예 1 내지 3의 MoS_2 막의 XRD(X-ray diffraction) 프로파일이다.

[0076] 도 11을 참조하면, 실시예 1 및 실시예 2의 MoS_2 막은 유사한 패턴을 보여준다. 그러나, 실시예 3은 완전히 다른 패턴을 보여준다. 실시예 3은 실시예 1 및 2와 XRD 패턴에서 2가지 주요 차이점을 보여준다. 첫 번째는, 피크의 너비이고, 두 번째는, 피크의 이동이다.

[0077] 결정자(crystallites)의 크기는 상기 2가지 차이를 가져오는 중요한 요소이다. 실시예 1 및 실시예 2의 MoS_2 막 내에서, 결정자의 크기는 수 나노미터의 범위이고, 이는 도 11의 피크를 넓게 하고, $2\Theta = 24^\circ$ 에서 (004) 방향의 비평면(out-of-plane)을 의미하는 피크를 보여준다.

[0078] 증착 온도가 올라가면, 나노 결정자는 더 큰 그레인(grain)으로 응집되고, 더 MoS_2의 수직 막의 형태로 성장한다. 따라서, 실시예 3의 최고 피크는 (002) 평면에 대응되는 $2\Theta = 13.5^\circ$ 로 이동된다.

[0079] 1.3° 의 낮은 반치폭(FWHM; full width at half maximum)은 실시예 3의 고도의 결정성을 증명한다. 또한, (00*l*) 평면의 존재는 전이 금속 칼코겐화합물(TMD)에서 좋은 품질의 비평면 텍스처를 의미한다.

[0080] 도 12는 본 발명의 실시예 1의 MoS_2 막의 표면 형태를 나타낸 FESEM 이미지이고, 도 13은 본 발명의 실시예 2의 MoS_2 막의 표면 형태를 나타낸 FESEM 이미지이다. 도 14는 본 발명의 실시예 3의 MoS_2 막의 표면 형태를 나타낸 FESEM 이미지이다.

[0081] 도 12 내지 도 14를 참조하면, 각각의 온도 레벨에서 MoS_2 막은 유니크하고, 구별되는 표면 형태를 보여준다. 실시예 1에서, 그레인 크기는 작고, 수평적인 막이 형성됨을 알 수 있다(도 12).

[0082] 온도가 200℃까지 올라간 실시예 2에서, MoS_2 의 수평적인 막은 서로 밀접하게 가득 채워진 MoS_2의 수직 구조로 변환된다(도 13). 온도가 400℃까지 더 올라간 실시예 3에서, 막간 거리(interlayer distance)가 증가되어 수직 구조의 밀도가 줄어든 MoS_2막을 확인할 수 있다(도 14).

[0083] 높은 온도에서의 실시예 2 및 실시예 3은, 수직 성장 MoS_2 막의 가장자리 면이 위로 향하도록 균일하게 성장됨을 알 수 있다. 이는 전계 방출 특성을 향상시키는 활성면일 수 있다. 이러한 MoS_2 막의 구조적 형태는 상기 XRD 프로파일과 잘 일치된다. 따라서, 이러한 본 발명에서 소개된 방식이 수직 MoS_2 막을 증착하는 직접적이고 간단한 방법임을 알 수 있다.

[0085] **실험예 2**

[0086] 온도에 따른 구조적 변화는 광학 특성에서 상당한 효과를 불러온다. 실시예 1 내지 3의 광학 특성을 알아보기 위해서 흡수도를 측정하였다. 도 15는 본 발명의 실시예 1 내지 3의 MoS_2 막의 파장에 따른 흡수도를 나타낸 그래프이다.

[0087] 도 15를 참조하면, 실시예 1 내지 3의 흡수도는 MoS_2 막의 증착 온도가 증가할수록 증가한다. 실시예 2의 수직 정렬된 MoS_2 막의 밀도는 실시예 3의 수직 정렬된 MoS2 막의 밀도보다 크다. 그럼에도, 380 내지 600nm 범위의 입사광에 대해서 실시예 3의 53.68%에 비해서 실시예 2의 평균 흡수도는 단지 28.47%에 불과하다. 따라서, 흡수도의 향상은 단순히 MoS_2 막의 밀도에 의해서 정해지는 것은 아니고, 수직 정렬된 막들의 길이에도 영향을 받는다. 전하 캐리어 또는 포톤의 긴 수직 막을 통한 접합으로의 전송은 매우 빠르게 이루어지기 때문이다.

[0089] **실험예 3**

[0090] 실시예 3의 광반응을 조사하기 위해서, 광전류 생성, 응답 시간 및 검출능을 조사하였다. 시간에 따른 광반응은 본 발명의 실시예 3의 포토 디텍터에 서로 다른 파장의 빛을 노출시킨 후 측정되었다. 상기 서로 다른 파장의 빛은 각각 블루, 그린 및 레드 컬러에 대응되는 455 nm, 515 nm 및 620 nm의 LED 광일 수 있다. 제로 바이어스 전압에서 광반응은 각각 실시간으로 온/오프되는 LED 조건에서 측정되었다.

[0091] 도 16은 본 발명의 실시예 3의 포토 디텍터의 455nm의 파장에서의 광반응을 나타낸 도면이고, 도 17은 본 발명의 실시예 3의 포토 디텍터의 515nm의 파장에서의 광반응을 나타낸 도면이다. 도 18은 본 발명의 실시예 3의 포토 디텍터의 620nm의 파장에서의 광반응을 나타낸 도면이다.

[0092] 도 16 내지 도 18을 참조하면, 파장이 620nm일 때, 실시예 3은 130㎂의 광전류를 생성하였다. 이는 제로 바이어스에서 매우 높은 값이다. 이는 수직 정렬 MoS_2 막의 가장자리 면의 큰 부피에 의한 전하 캐리어의 빠른 전송에 기인한다.

[0093] 속도 및 지속성은 포토 디텍터의 전체적인 성능을 결정하는 중요한 요소이다. 이에 따라, 광전류 신호의 라이즈 및 폴 타임이 측정되었다.

[0094] 도 19는 본 발명의 실시예 3의 포토 디텍터의 파장에 대한 라이즈 타임 및 폴 타임을 정리한 표이다.

[0095] 라이즈 타임은 포토 디텍터의 광전류 값이 피크 값의 10%에서 90%까지 증가하는 데 걸리는 시간으로 측정되었다. 감쇠 시간(decay time) 또는 폴 타임은 그 반대로 측정되었다(즉, 90%에서 10%로 감소하는 데 걸리는 시간).

[0096] 도 19를 참조하면, 실시예 3의 포토 디텍터는 입사되는 포톤에 대해서 꾸준하고 빠른 응답을 제공하는 것으로 보여진다. 실시예 3의 포토 디텍터는 455nm 파장 영역에서 38.78 ㎲의 짧은 시간 내에 63㎂의 광전류를 생성하고, 43.07 ㎲ 내에 감소시킨다. 이는 기존의 MoS_2 막을 이용한 기술들과 비교하여, 반응속도가 매우 빠른 것이 특징이며, 또한 외부전압(External bias)의 도움이 (또는 인가가) 없이 작동하는 특징을 가진다.

[0097] 도 20은 본 발명의 실시예 3의 포토 디텍터와 기존의 포토 디텍터와의 특성을 비교한 표이다. 도 20에는 이러한 차이점이 명확하게 드러난다.

[0098] 도 21은 본 발명의 실시예 3의 포토 디텍터의 블루 컬러의 입사광에 대해서 빛의 세기에 따른 광전류를 도시한 그래프이고, 도 22는 본 발명의 실시예 3의 포토 디텍터의 그린 컬러의 입사광에 대해서 빛의 세기에 따른 광전류를 도시한 그래프이다. 도 23은 본 발명의 실시예 3의 포토 디텍터의 레드 컬러의 입사광에 대해서 빛의 세기에 따른 광전류를 도시한 그래프이다.

[0099] 도 21 내지 도 23을 참조하면, 광전류는 빛의 세기가 증가함에 따라서 선형적으로 증가한다. 도 21 내지 도 23의 그래프는 I_pAP^{Θ}의 멱 법칙(power law)에 잘 부합한다. 여기서, Ip는 광전류이고, P는 빛의 세기이고, Θ는 비례 상수이다. 입사하는 빛의 세기에 따른 광전류의 선형성은 실시예 3의 포토 디텍터의 MoS_2 막의 상면이 낮은 결함을 가지는 것을 의미한다.

[0100] 도 24는 본 발명의 실시예 3의 포토 디텍터의 455nm의 파장에서의 응답도 및 검출능을 나타낸 도면이고, 도 25

는 본 발명의 실시예 3의 포토 디텍터의 515nm의 파장에서의 응답도 및 검출능을 나타낸 도면이다. 도 26은 본 발명의 실시예 3의 포토 디텍터의 620nm의 파장에서의 응답도 및 검출능을 나타낸 도면이다.

[0101] 실시예 3의 포토 디텍터의 응답도(R; responsivity) 및 검출능(D^*; detectivity)은 도 24 내지 도 26에서 나타난 3개의 대상 파장에 대해서 대해서 빛의 세기에 대한 함수로 계산된다.

[0102] 도 24 내지 도 26을 참조하면, 응답도는 특정 파장 영역에서 빛의 세기의 단위 파워당 포토 디텍터에 의해서 생성된 광전류를 나타낸다. 이는 $R = I_p/P_{in}$의 관계식에 의해서 측정된다. 여기서, I_p 및 P_{in}은 각각 광전류 및 입사되는 빛의 세기이다. 실시예 3의 포토 디텍터는 변화되는 입사광의 조건하에서 꾸준한 광전류를 생성한다. 파장이 455nm에서 빛의 세기가 증가하면 응답도는 초기에 증가하고, 이후에 일정한 광전류를 유지한다. 그린 컬러의 입사광의 파워 세기의 범위에서의 안정적인 광전류는 X-레이 분석기에서 중요하다. 파장이 620nm일 때, 응답도는 빛의 세기가 감소함에 따라 증가한다. 파장이 블루 컬러에서 레드 컬러로 증가할 때, 실시예 3의 포토 디텍터의 응답도는 30 mA/W 에서 10 mA/W로 감소한다.

[0103] 유사한 현상이 실시예 3의 포토 디텍터의 검출능에서도 발견된다. 검출능은 포토 디텍터의 잡음이 많은 조건하에서 약한 빛 신호를 감지하는 능력을 결정하는 중요한 요소이며, 본 MoS_2 소자에서는 $D^*=R/(2qJ_d)^{1/2}$의 관계식을 통해서 매우 우수한 검출능을 도출하였다. 이는 MoS2 막의 품질이 우수하여, 낮은 J_d (암전류 밀도)값과 높은 응답도를 갖는 것에 기인한다. 이는 $D^*=R/(2qJ_d)^{1/2}$의 관계식을 통해서 계산된다. 여기서, J_d는 암전류 밀도이다. 상기 관계식에서, 높은 응답도 및 낮은 암전류 밀도는 높은 검출능을 도출한다.

[0104] 상술한 바와 같이 응답도는 제로 바이어스 전압에서 10 내지 30 mA/W 범위로 변화한다. 나아가, 역 포화 전류에서 일반적으로 측정되는 잡음 레벨은 매우 낮은 3㎂로 측정된다. 따라서, 바이어스가 없는 조건에서, 검출능은 10^9 내지 10^{10} Jones로 측정되며, 실시예 3에서와 같이 MoS_2 포토 디텍터가 매우 미약한 입사 신호에도 민감하게 반응하는 것을 의미한다.

[0105] 기존에 보고된 결과들에 있어서, MoS_2에 기반한 포토 디텍터들은 동작을 위해 대부분 혹은 종종 외부 바이어스가 요구된다.

[0106] 반면에 본 발명은 몇몇 실시예들에서 보인 것과 같이 빠른 반응 및 높은 안정성을 보이는데 이는 1)MoS2 잎들(leaves)의 균일한 수직 성장이 더 많은 수의 광자를 흡수하고, 2)MoS2의 수직구조체 의해서 고속 경로가 제공되는 것에 기인한다.

[0107] 이상 실험예 및 첨부된 도면을 참조하여 본 발명의 실시예들을 설명하였지만, 본 발명이 속하는 기술분야에서 통상의 지식을 가진 자는 본 발명의 그 기술적 사상이나 필수적인 특징을 변경하지 않고서 다른 구체적인 형태로 실시될 수 있다는 것을 이해할 수 있을 것이다. 그러므로 이상에서 기술한 실시예들은 모든 면에서 예시적인 것이며 한정적이 아닌 것으로 이해해야만 한다.

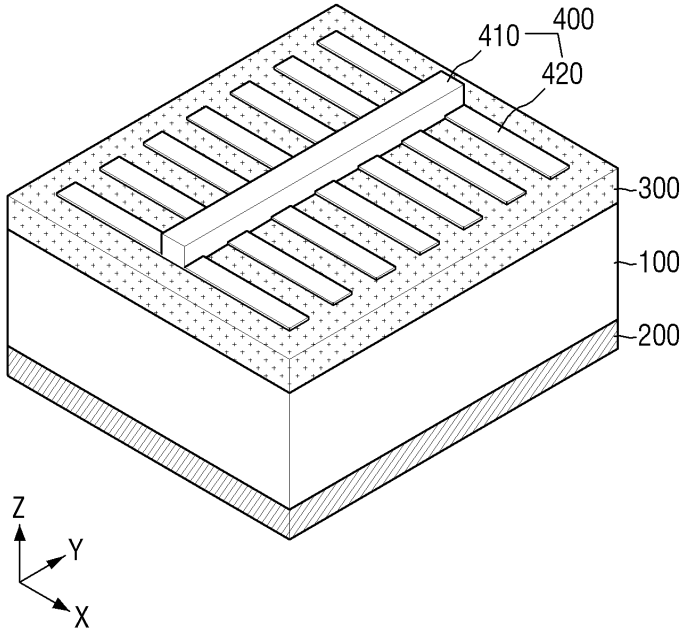
부호의 설명

[0108] 100: 기판 200: 하부 컨택

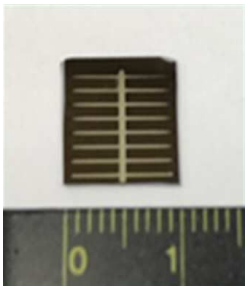
300: 황화 몰리브덴막 400: 상부 컨택

도면

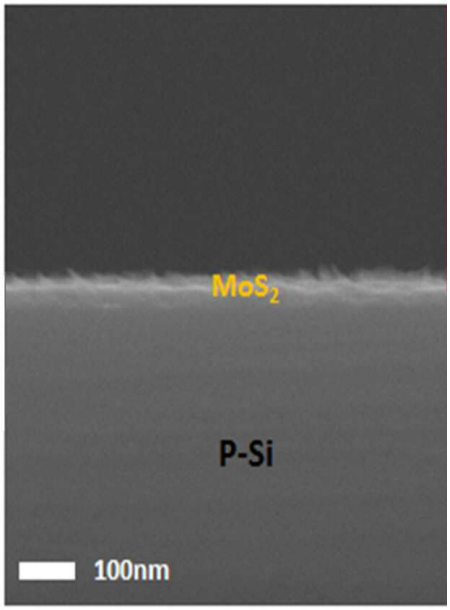
도면1



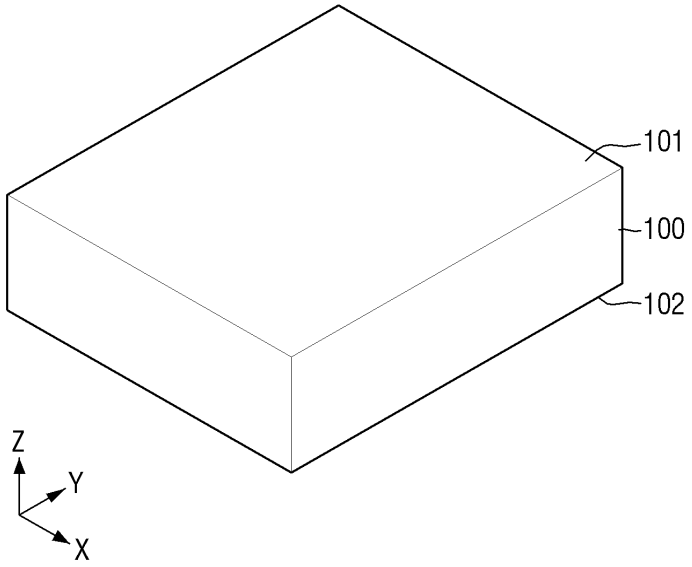
도면2



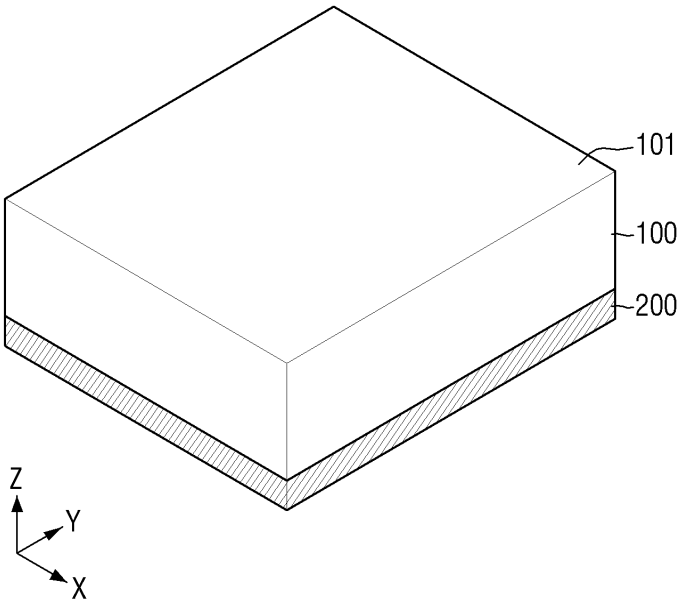
도면3



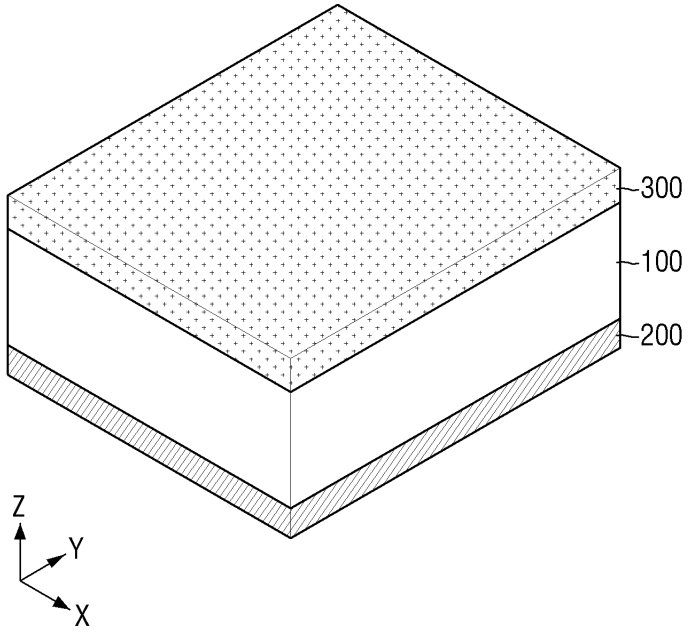
도면4



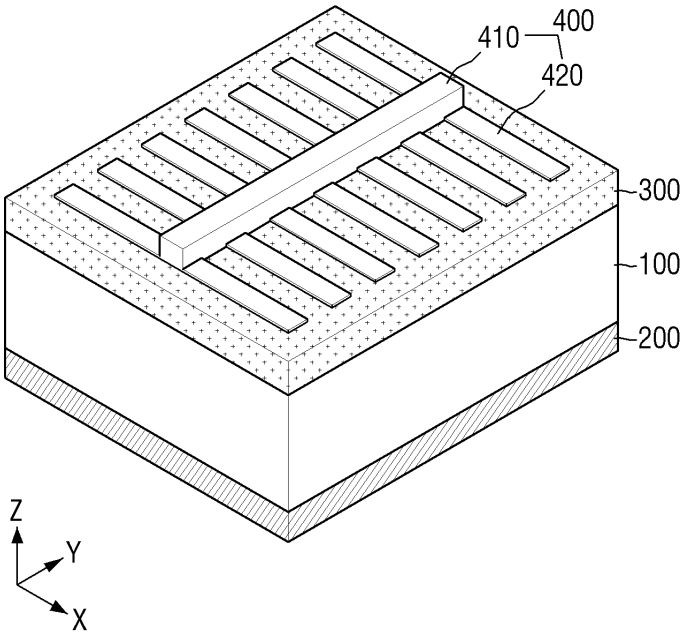
도면5



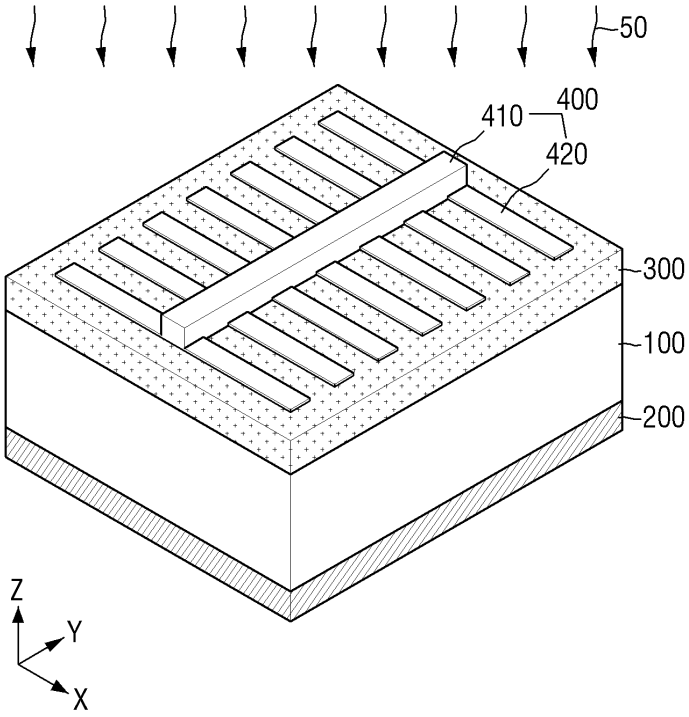
도면6



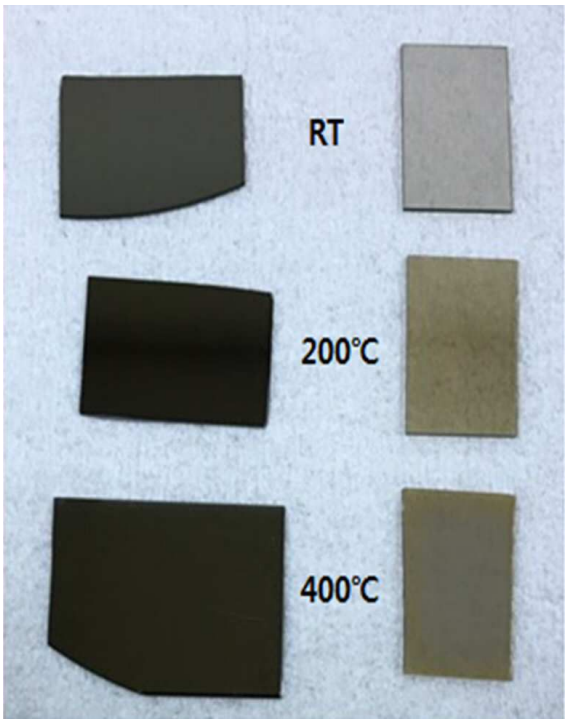
도면7



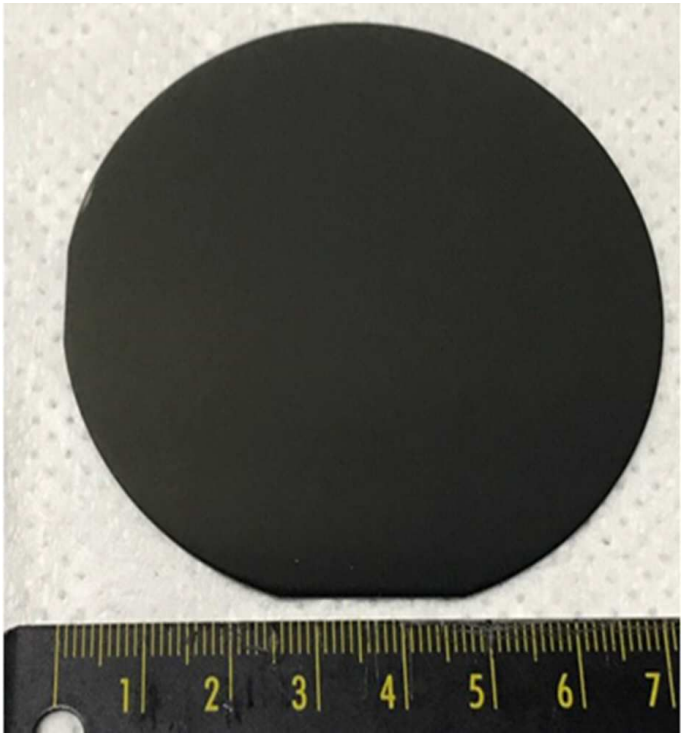
도면8



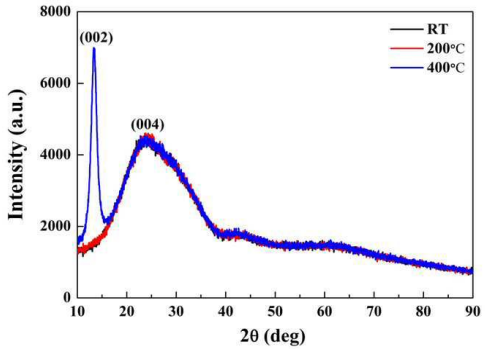
도면9



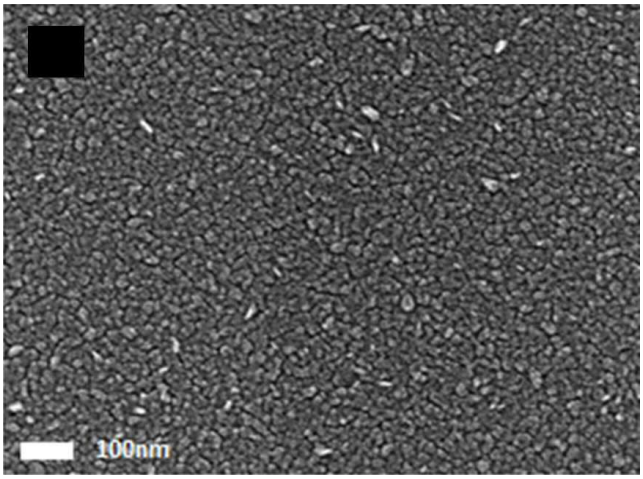
도면10



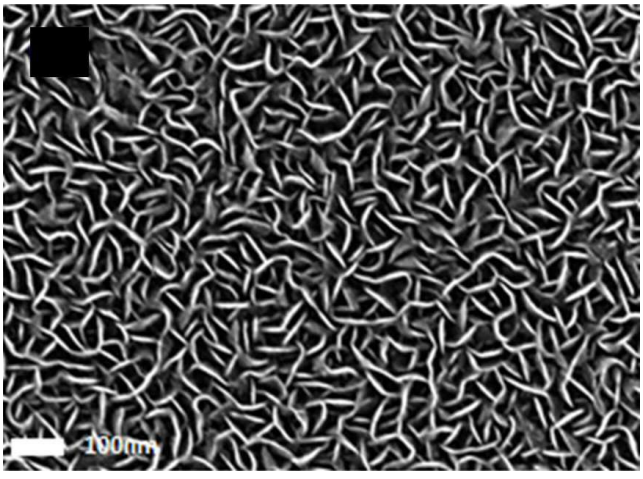
도면11



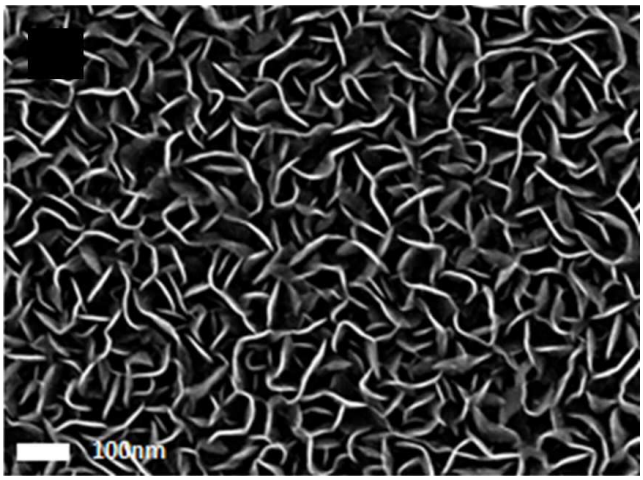
도면12



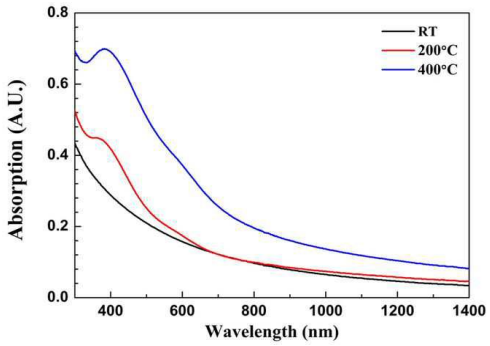
도면13



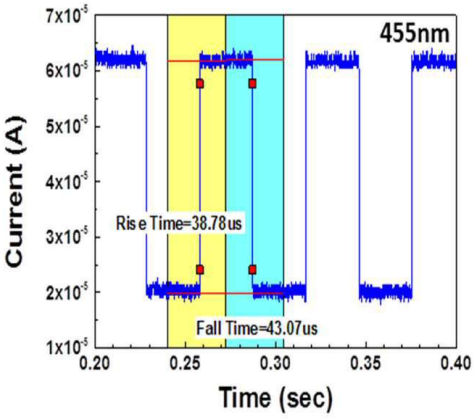
도면14



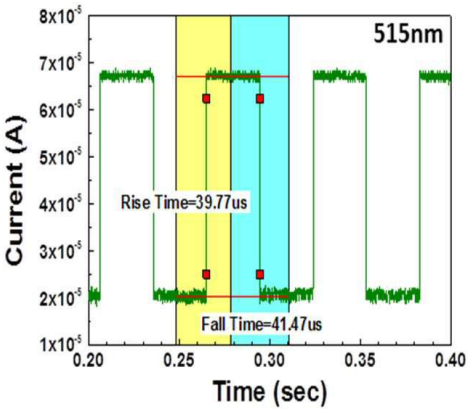
도면15



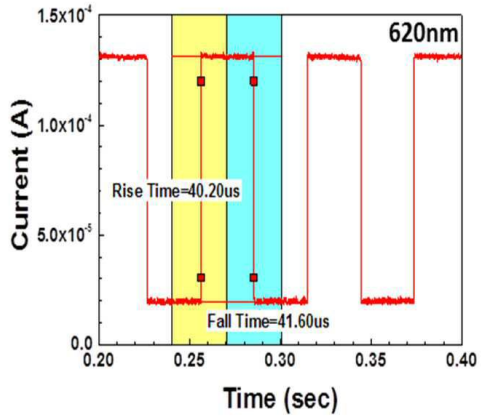
도면16



도면17



도면18



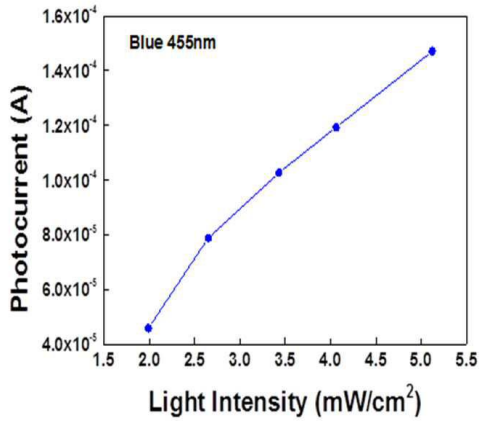
도면19

Incident Wavelength (nm)	Rise time (μs)	Fall time (μs)
455±5nm	38.78	43.07
515±5nm	39.77	41.47
620±5nm	40.20	41.60

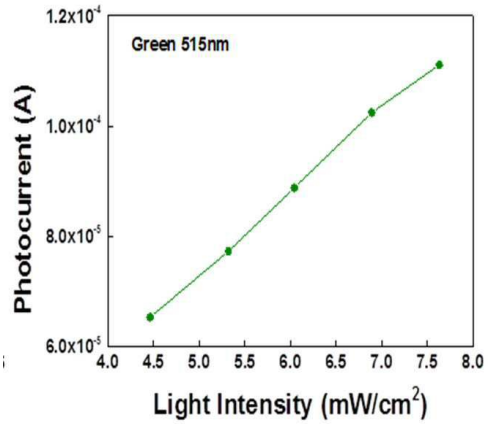
도면20

Structure	Method	Applied voltage	Rise time (s)	Fall time (s)	Responsivity (A/W)	Detectivity (Jones)	Reference
MoS_2/p-Si	Sputter	0V	38.78 μs	43.07 μs	0.03	1.45×10^{10}	This work
Pd-MoS_2/n-Si	Sputter	0V	2.1 μs	178 μs	0.654	1.0×10^{14}	[15]
MoS_2/p-Si	Sputter+CVD	2V	10 μs	19 μs	8.75	1.4×10^{12}	[29]
MoS_2/n-Si	Two step thermolysis	-2V	30.5 μs	71.6 μs	11.9	2.1×10^{10}	[30]
MoS_2-MSM PDs	Two-step thermolysis	10V	70 μs	110 μs	0.57	-	[31]
a-Si/MoS_2	Mechanical Exfoliation	1V	0.3 ms	0.3 ms	0.21	-	[32]
MoS_2- MSM PDs	CVD	3V	0.2 ms	1.7 ms	0.55	-	[33]
MoS_2/SiO_2/Si	Mechanical Exfoliation	1V	50 ms	50 ms	-	-	[4]

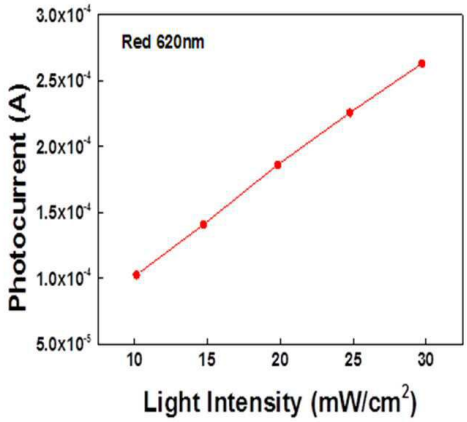
도면21



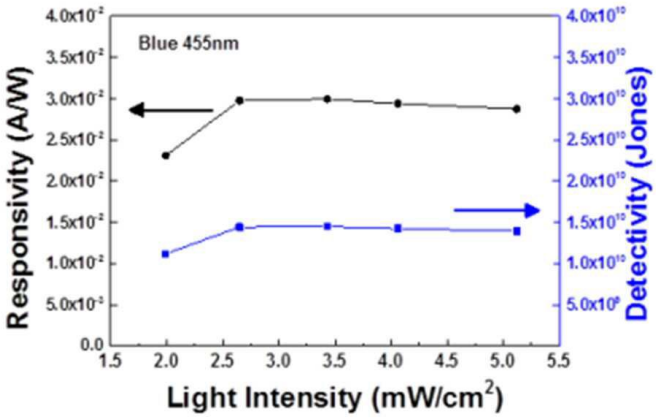
도면22



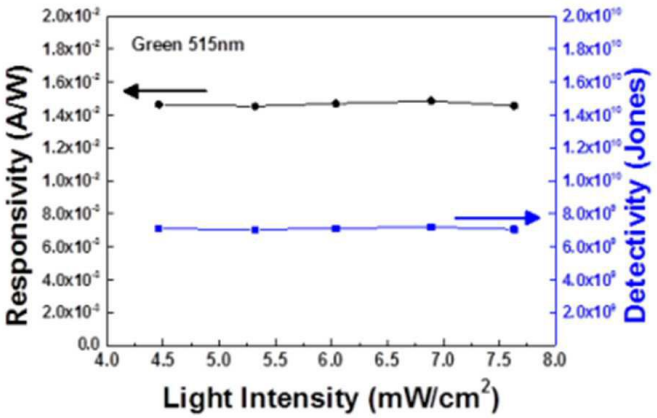
도면23



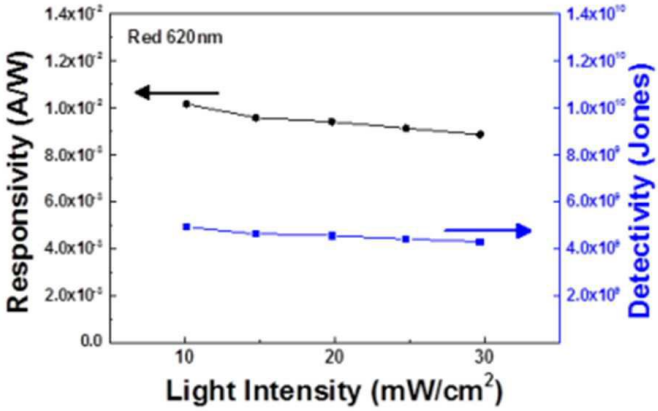
도면24



도면25



도면26


Red 620nm
Responsivity (A/W)
Detectivity (Jones)
Light Intensity (mW/cm²)
1.4x10⁻²
1.2x10⁻²
1.0x10⁻²
8.0x10⁻³
6.0x10⁻³
4.0x10⁻³
2.0x10⁻³
0.0
1.4x10¹⁰
1.2x10¹⁰
1.0x10¹⁰
8.0x10⁹
6.0x10⁹
4.0x10⁹
2.0x10⁹
10
20
30