



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2025년02월05일
(11) 등록번호 10-2763489
(24) 등록일자 2025년02월03일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
H10K 30/00 (2023.01) H10K 10/00 (2024.01)
H10K 99/00 (2023.01)

(52) CPC특허분류
H10K 30/65 (2023.02)
H10K 10/466 (2023.02)

(21) 출원번호 10-2022-0100352

(22) 출원일자 2022년08월11일

심사청구일자 2022년08월11일

(65) 공개번호 10-2024-0022094

(43) 공개일자 2024년02월20일

(56) 선행기술조사문헌

KR1020210142419 A*

Hyun-Jae Na et al., J. Mater. Chem. C, 2019, 7, 14223(2019.10.15.)*

Y. Wang et al., Organic Electronics, 83, 2020, 105778(2020.4.18.)*

*는 심사관에 의하여 인용된 문헌

(73) 특허권자

충북대학교 산학협력단

충청북도 청주시 서원구 충대로 1 (개신동)

(72) 발명자

김성진

경기도 안양시 만안구 경수대로 1193, 104-1101(석수e-편한세상아파트)

이재윤

충청북도 청주시 서원구 성봉로220번길 47-4, 2동 204호(해가득한집)

게르게이

충청북도 청주시 서원구 성봉로220번길 47-4, 해가득한집 2동 204호

(74) 대리인

김정현

전체 청구항 수 : 총 1 항

심사관 : 정미나

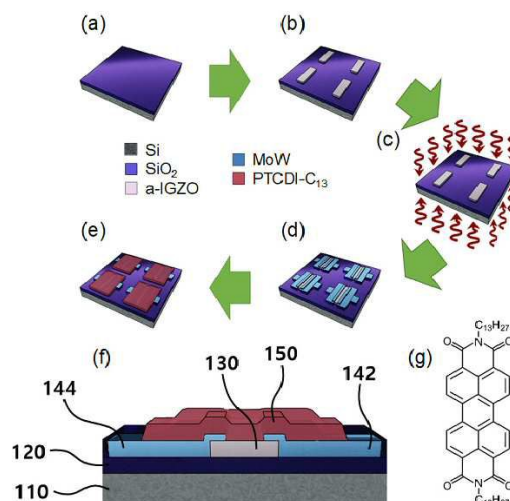
(54) 발명의 명칭 무기 채널층과 유기 광활성층을 포함하는 하이브리드 포토 트랜지스터 소자

(57) 요약

본 발명은 하이브리드 포토 트랜지스터 소자에 관한 것으로서, 하부 게이트 전극의 기능을 포함하는 기판, 상기 기판 상에 형성된 절연층, 상기 절연층에 연결되어 전하를 전달하는 채널을 형성하기 위하여, 상기 절연층 상에 형성된 채널층, 상기 채널층 상에 소스 전극과 드레인 전극을 포함하여 형성된 상부 전극 및 상기 상부 전극 상에 광 반응을 위해 형성된 광활성층을 포함한다.

본 발명에 의하면 유기 채널층과 무기 광활성층을 갖는 하이브리드 포토 트랜지스터를 제공함으로써, 높은 전기적 성능을 가지며, 광 생성 전하들이 채널 계층으로 효율적으로 전달되어, 순수 a-IGZO에 비해 광 전류가 크게 증가하는 효과가 있다.

대표도 - 도1



(52) CPC특허분류

H10K 10/484 (2023.02)

H10K 71/40 (2023.02)

H10K 85/6572 (2023.02)

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호	1711159782
과제번호	2020-0-01462-001
부처명	과학기술정보통신부
과제관리(전문)기관명	정보통신기획평가원
연구사업명	지역지능화혁신인재양성(Grand ICT연구센터)
연구과제명	Grand ICT 연구센터(충북대)
기 여 율	34/100
과제수행기관명	충북대학교 산학협력단
연구기간	2020.07.01 ~ 2027.12.31

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호	1345356219
과제번호	LINC3.0-2022-5
부처명	교육부
과제관리(전문)기관명	한국연구재단
연구사업명	산학연협력고도화지원(R&D)
연구과제명	3단계산학연협력선도대학육성사업(LINC3.0)
기 여 율	33/100
과제수행기관명	충북대학교 산학협력단
연구기간	2022.03.31 ~ 2023.02.28

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호	1345346979
과제번호	2020R1A6A1A12047945
부처명	교육부
과제관리(전문)기관명	한국연구재단
연구사업명	대학중점연구소지원사업
연구과제명	신재생 에너지를 활용한 자율주행용 데이터 네트워킹 AI 엔진/부품 기술개발
기 여 율	33/100
과제수행기관명	충북대학교 산학협력단
연구기간	2020.06.01 ~ 2029.05.31

명세서

청구범위

청구항 1

하부 게이트 전극의 기능을 포함하는 기판;

상기 기판 상에 형성된 절연층;

상기 절연층에 연결되어 전하를 전달하는 채널을 형성하기 위하여, 상기 절연층 상에 형성된 채널층;

상기 채널층 상에 소스 전극과 드레인 전극을 포함하여 형성된 상부 전극; 및

상기 상부 전극 상에 광 반응을 위해 형성된 광활성층을 포함하고,

상기 기판은 N형(N-type)으로 heavily 도핑된(doped) 600 μm 두께의 실리콘(Si) 웨이퍼 기판으로 구현되고,

상기 절연층은 퍼니스(furnace)에서 열 산화(thermal oxidation) 공정을 통해 100 nm의 SiO_2 를 성장시키는 방식으로 형성되고,

상기 채널층이 형성된 이후, 상기 채널층을 열처리하는 열 어닐링(thermal annealing)이 수행되고,

무기(inorganic) 물질로 상기 채널층이 형성되되, a-IGZO(amorphous Indium Gallium Zinc oxide) 박막으로 상기 채널층이 형성되고,

유기(organic) 물질로 상기 광활성층이 형성되되, PTCDI- C_{13} (perylene-tetracarboxylic diimide) 박막으로 상기 광활성층이 형성되며,

상기 채널층을 열처리하는 열 어닐링(thermal annealing)을 수행함에 있어서, 박스 퍼니스 안에서 500 $^{\circ}\text{C}$ 의 온도로 열 어닐링을 수행하고,

상기 채널층을 형성하기 전에 표면에 남아있는 불순물들을 제거하기 위해서, H_2SO_4 와 H_2O_2 를 3:1 비율로 혼합하여 만든 sulfuric peroxide mixture 용액에 담가 60 $^{\circ}\text{C}$ 의 온도에서 피라냐 세정(piranha cleaning)을 진행하고,

상기 채널층을 형성함에 있어서, RF 마그네트론 스퍼터링 시스템(magnetron sputtering system)을 사용하여 a-IGZO 박막을 20 nm 두께로 증착하고,

상기 상부 전극을 형성함에 있어서, DC 마그네트론 스퍼터링 시스템(magnetron sputtering system)을 이용하여 MoW(Molybdenum tungsten)을 100 nm 두께로 증착하여 소스 전극과 드레인 전극을 형성하고,

상기 광 활성층을 형성함에 있어서, 씨멀 이베포레이터(thermal evaporator) 공정을 사용하여 상기 채널층, 상기 소스 전극 일부 및 상기 드레인 전극 일부 상에 PTCDI- C_{13} 박막을 100 nm 두께로 증착하는 것을 특징으로 하는 하이브리드 포토 트랜지스터 소자.

청구항 2

삭제

청구항 3

삭제

청구항 4

삭제

청구항 5

삭제

청구항 6

삭제

발명의 설명

기술 분야

[0001] 본 발명은 포토 트랜지스터에 관한 것으로서, 더욱 상세하게는 하이브리드 포토 트랜지스터에 관한 것이다.

배경 기술

[0002] 인듐 산화물, 주석 산화물 또는 아연 주석 산화물과 같은 비정질 금속 산화물(Amorphous metal oxide)은 높은 이동도, 낮은 하위 임계값 스윙(low subthreshold swing)을 제공하기 때문에 실리콘을 대체할 수 있는 무기(inorganic) 반도체이다.

[0003] 그 중에서 비정질 인듐 갈륨 아연 산화물(amorphous Indium Gallium Zinc oxide, a-IGZO)은 높은 고유 전자 농도, 전기적 안정성, 높은 이동도 및 넓은 밴드갭(bandgap)으로 인해 가장 널리 연구되는 산화물 반도체 중 하나이다.

[0004] 이처럼 비정질 금속 산화물 반도체는 차세대 전자 장치를 위한 고성능 및 다목적성을 제공하지만, 넓은 밴드갭으로 인해 광전자 분야에 적용하는데 한계가 있다.

[0005] 한편 유기(organic) 반도체는 가시광선에 대한 높은 광 응답(photo response)을 제공하지만 상대적으로 전하 캐리어 이동도가 낮다는 단점이 있다.

선행기술문헌

특허문헌

[0006] (특허문헌 0001) 대한민국 등록특허 10-1051586

발명의 내용

해결하려는 과제

[0007] 본 발명은 상기와 같은 문제점을 해결하기 위하여 안출된 것으로서, 무기(inorganic) 물질이 채널층이고, 유기(organic) 물질이 광활성층으로 구성된 하이브리드 포토 트랜지스터 소자를 제공하는데 그 목적이 있다.

[0008] 본 발명의 목적은 이상에서 언급한 목적으로 제한되지 않으며, 언급되지 않은 또 다른 목적들은 아래의 기재로부터 통상의 기술자에게 명확하게 이해될 수 있을 것이다.

과제의 해결 수단

[0010] 이와 같은 목적을 달성하기 위한 본 발명은 하이브리드 포토 트랜지스터 소자에 관한 것으로서, 하부 게이트 전극의 기능을 포함하는 기판, 상기 기판 상에 형성된 절연층, 상기 절연층에 연결되어 전하를 전달하는 채널을 형성하기 위하여, 상기 절연층 상에 형성된 채널층, 상기 채널층 상에 소스 전극과 드레인 전극을 포함하여 형성된 상부 전극 및 상기 상부 전극 상에 광 반응을 위해 형성된 광활성층을 포함한다.

[0011] 상기 채널층이 형성된 이후, 상기 채널층을 열처리하는 열 어닐링(thermal annealing)이 수행될 수 있다.

[0012] 본 발명의 일 실시예에서 무기(inorganic) 물질로 상기 채널층이 형성될 수 있다. 보다 구체적으로, a-IGZO(amorphous Indium Gallium Zinc oxide) 박막으로 상기 채널층이 형성될 수 있다.

[0013] 본 발명의 일 실시예에서 유기(organic) 물질로 상기 광활성층이 형성될 수 있다. 보다 구체적으로, PTCDI-

C₁₃(perylene-tetracarboxylic diimide) 박막으로 상기 광활성층이 형성될 수 있다.

발명의 효과

- [0014] 본 발명에 의하면 유기 채널층과 무기 광활성층을 갖는 하이브리드 포토 트랜지스터를 제공함으로써, 높은 전기적 성능을 가지며, 광 생성 전하들이 채널 계층으로 효율적으로 전달되어, 순수 a-IGZO에 비해 광 전류가 크게 증가하는 효과가 있다.
- [0015] 또한, 본 발명에 의하면, 채널 계층에 열처리 공정을 수행함으로써, 순수 a-IGZO에 비해 높은 이동도(mobility)와 크게 증가된 광전류를 갖는다는 효과가 있다.

도면의 간단한 설명

- [0016] 도 1는 본 발명의 일 실시예에 따른 하이브리드 포토 트랜지스터 소자 제조 공정을 나타낸 도면이다.
- 도 2은 PTCDI-C₁₃ 박막이 없는 경우(a)와 PTCDI-C₁₃ 박막이 있는 경우(b)에 다양한 어닐링 온도에서 a-IGZO 채널층을 갖는 소자의 전달 곡선을 도시한 것이다.
- 도 3는 상단 레이어가 없는 소자(a)와 상단 레이어가 있는 소자(b)의 전자 이동도, 임계 전압, 온-오프 비 및 서브쓰레숄드(subthreshold) 스윙을 도시한 그래프이다.
- 도 4는 순수(pristine) 상태의 a-IGZO 박막 및 열처리된 a-IGZO 박막 상에 증착된 PTCDI-C₁₃ 박막의 X선 회절도(diffractogram)(a)와, XRD 피크 영역의 온도 의존성(b)을 도시한 것이다.
- 도 5은 a-IGZO/PTCDI-C₁₃ 채널의 개략적인 단면도를 도시한 것이다.
- 도 6은 PTCDI-C₁₃ 상단 레이어가 있는 소자와 없는 소자에 대한 광응답을 비교한 그래프이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

- [0017] 본 발명은 다양한 변경을 가할 수 있고 여러 가지 실시 예를 가질 수 있는 바, 특정 실시 예들을 도면에 예시하고 상세하게 설명하고자 한다. 그러나, 이는 본 발명을 특정한 실시 형태에 대해 한정하려는 것이 아니며, 본 발명의 사상 및 기술 범위에 포함되는 모든 변경, 균등물 내지 대체물을 포함하는 것으로 이해되어야 한다.
- [0018] 본 출원에서 사용한 용어는 단지 특정한 실시 예를 설명하기 위해 사용된 것으로, 본 발명을 한정하려는 의도가 아니다. 단수의 표현은 문맥상 명백하게 다르게 뜻하지 않는 한, 복수의 표현을 포함한다. 본 출원에서, "포함하다" 또는 "가지다" 등의 용어는 명세서 상에 기재된 특징, 숫자, 단계, 동작, 구성요소, 부품 또는 이들을 조합한 것이 존재함을 지정하려는 것이지, 하나 또는 그 이상의 다른 특징들이나 숫자, 단계, 동작, 구성요소, 부품 또는 이들을 조합한 것들의 존재 또는 부가 가능성을 미리 배제하지 않는 것으로 이해되어야 한다.
- [0019] 다르게 정의되지 않는 한, 기술적이거나 과학적인 용어를 포함해서 여기서 사용되는 모든 용어들은 본 발명이 속하는 기술 분야에서 통상의 지식을 가진 자에 의해 일반적으로 이해되는 것과 동일한 의미를 갖고 있다. 일반적으로 사용되는 사전에 정의되어 있는 것과 같은 용어들은 관련 기술의 문맥 상 갖는 의미와 일치하는 의미를 갖는 것으로 해석되어야 하며, 본 출원에서 명백하게 정의하지 않는 한, 이상적이거나 과도하게 형식적인 의미로 해석되지 않는다.
- [0020] 또한, 첨부 도면을 참조하여 설명함에 있어, 도면 부호에 관계없이 동일한 구성 요소는 동일한 참조 부호를 부여하고 이에 대한 중복되는 설명은 생략하기로 한다. 본 발명을 설명함에 있어서 관련된 공지 기술에 대한 구체적인 설명이 본 발명의 요지를 불필요하게 흐릴 수 있다고 판단되는 경우 그 상세한 설명을 생략한다.
- [0021] 본 발명은 하이브리드 포토 트랜지스터 소자에 관한 것으로, 보다 상세하게는 무기(inorganic) 물질로 구성된 a-IGZO를 채널 계층으로 갖고, 고 광반응성 페릴렌(perylene) 구조의 유기(organic) 물질을 광활성 계층으로 갖는 하이브리드 포토 트랜지스터 소자에 관한 것이다.
- [0022] 본 발명에 따라 제조되는 하이브리드 포토 트랜지스터는, 높은 전기적 성능을 가지며, 광 생성 전하들이 채널 계층으로 효율적으로 전달되어 순수 a-IGZO에 비해 매우 증가된 광 전류를 갖는 인터페이스를 구현한다.
- [0023] 본 발명의 하이브리드 포토트랜지스터 제조 방법에 의하면, 하이브리드 포토 트랜지스터는 채널 계층이 500 °C

에서 열처리되어 순수 a-IGZO에 비해 높은 모빌리티(mobility)와 매우 증가된 광 전류를 갖는다.

- [0024] 본 발명에서 a-IGZO(amorphous Indium Gallium Zinc oxide) 채널층과 PTCDI-C₁₃(perylene-tetracarboxylic diimide) 광활성층을 가진 하이브리드 무기-유기 포토 트랜지스터의 제조 방법을 제안한다. PTCDI-C₁₃은 다결정 박막 형태의 전자 수송 특성과 전기적 안정성이 비교적 우수하고, 가시광선에서 높은 광반응을 보인다.
- [0025] 본 발명에서 채널층과 광활성층 사이의 계면을 개선하여 층간 전하수송 효율을 최대화하기 위해, 채널층 형성 후에 열처리를 실시하고, 어닐링(annealing) 온도를 최적화한다.
- [0026] 본 발명은 하이브리드 포토 트랜지스터 소자에 관한 것으로서, 하부 게이트 전극의 기능을 포함하는 기판, 상기 기판 상에 형성된 절연층, 상기 절연층에 연결되어 전하를 전달하는 채널을 형성하기 위하여, 상기 절연층 상에 형성된 채널층, 상기 채널층 상에 소스 전극과 드레인 전극을 포함하여 형성된 상부 전극 및 상기 상부 전극 상에 광 반응을 위해 형성된 광활성층을 포함한다.
- [0027] 상기 채널층이 형성된 이후, 상기 채널층을 열처리하는 열 어닐링(thermal annealing)이 수행될 수 있다.
- [0028] 본 발명의 일 실시예에서 무기(inorganic) 물질로 상기 채널층이 형성될 수 있다. 보다 구체적으로, a-IGZO(amorphous Indium Gallium Zinc oxide) 박막으로 상기 채널층이 형성될 수 있다.
- [0029] 본 발명의 일 실시예에서 유기(organic) 물질로 상기 광활성층이 형성될 수 있다. 보다 구체적으로, PTCDI-C₁₃(perylene-tetracarboxylic diimide) 박막으로 상기 광활성층이 형성될 수 있다.
- [0030] 도 1은 본 발명의 일 실시예에 따른 하이브리드 포토 트랜지스터 소자 제조 공정을 나타낸 도면이다. 도 1(f)은 a-IGZO 박막과 PTCDI-C₁₃을 구비한 포토 트랜지스터 소자의 개략적인 단면도이다.
- [0031] 도 1를 참조하면, 본 발명의 일 실시예에 따른 하이브리드 포토 트랜지스터 소자는 기판(Substrate)(110), 절연층(Insulator layer)(120), 채널층(Channel layer)(130), 상부 전극(Top electrode)(142, 144), 광활성층(Photo active layer)(150)을 포함한다.
- [0032] 기판(110)은 하부 게이트(Gate) 전극의 기능을 포함하고 있다. 본 발명의 일 실시예에서 기판(110)은 N형(N-type)으로 heavily 도핑된(doped) 실리콘(Si) 웨이퍼 기판으로 구현될 수 있으며, 게이트 하부 전극으로 사용된다. 예를 들어, 기판(110)은 600 μm 두께의 실리콘(Si) 웨이퍼 기판으로 구현될 수 있다.
- [0033] 절연층(120)은 기판(110) 상에 형성된다. 본 발명의 일 실시예에서 절연층(120)은 기판(110) 상에 SiO₂를 성장시키는 방식으로 형성될 수 있다. 예를 들어, 퍼니스(furnace)에서 열 산화(thermal oxidation) 공정을 통해 100 nm의 SiO₂를 성장시키는 방식으로 형성될 수 있다.
- [0034] 채널층(130)은 절연층(120)에 연결되어 전하를 전달하는 채널을 형성하기 위하여, 절연층(120) 상에 형성된다.
- [0035] 상부 전극(142, 144)은 채널층(130) 상에 소스 전극(142)과 드레인 전극(144)을 포함하여 형성된다.
- [0036] 광활성층(150)은 상부 전극(142, 144) 상에 광 반응을 위해 형성된다.
- [0037] 본 발명의 일 실시예에서 채널층(130)이 형성된 이후, 채널층(130)을 열처리하기 위한 열 어닐링(thermal annealing)이 수행될 수 있다.
- [0038] 본 발명의 일 실시예에서 무기(inorganic) 물질로 채널층(130)이 형성될 수 있다. 보다 구체적으로, a-IGZO(amorphous Indium Gallium Zinc oxide) 박막으로 채널층(130)이 형성될 수 있다.
- [0039] 본 발명의 일 실시예에서 유기(organic) 물질로 광활성층(150)이 형성될 수 있다. 보다 구체적으로, PTCDI-C₁₃(perylene-tetracarboxylic diimide) 박막으로 광활성층(150)이 형성될 수 있다.
- [0040] 도 1를 참조하면, Si/SiO₂ 기판(110)을 세척하고(a), RF 스퍼터링 방식으로 SiO₂ (120)상에 a-IGZO 박막(130)을 형성하고(b), 박스 퍼니스(box furnace) 안에서 다양한 온도로 어닐링(annealing)을 실시한다(c). 그리고, DC 스퍼터링 방식으로 몰리브덴 텅스텐(MoW)으로 소스(source) 전극(142) 및 드레인(drain) 전극(144)을 증착한다(d). 본 발명에서 어닐링 온도에 따라 이러한 소자의 채널층은 순수 상태 소자의 I-P, 100° C에서 어닐링된 소자의 경우 I-100 등으로 명명된다. 그리고 PTCDI-C₁₃ (150)이 증착된다(e). 여기서, 광활성층의 이름이 -P를 단어 뒤에 추가하는 방식으로 명명된다. 예를 들어, 순수 상태 소자의 경우 I-P-P, 100° C에서 어닐링된 소자의

경우 I-100-P 등으로 명명된다.

- [0041] 도 1 (f)에 제작이 완성된 소자의 단면도가 도시되어 있고, PTCDI-C₁₃의 화학구조가 (g)에 도시되어 있다.
- [0042] 본 발명의 전기적 특성을 평가하기 위한 실험에 대한 준비 과정 및 결과는 다음과 같다.
- [0043] 본 발명에서 600 μm의 고농도로 도핑된 n형 실리콘 웨이퍼(heavily doped n-type Si wafer)를 기판(110)으로 제작하며, 퍼니스(furnace)를 사용한 습식 산화 공정을 통해 100 nm의 SiO₂ 절연층(120)을 형성한다.
- [0044] 반도체 소자 제조 공정 중 발생하는 오염물은 소자의 구조적 형상의 왜곡과 전기적 특성을 저하시키기 때문에, 소자의 성능, 신뢰성 및 수율 등에 큰 영향을 미친다. 따라서, 채널층(130)을 증착하기 전에 표면에 남아있는 불순물들을 제거하기 위해서, H₂SO₄와 H₂O₂를 3:1 비율로 혼합하여 만든 sulfuric peroxide mixture 용액에 담가 60 ° C의 온도에서 피라냐 세정(piranha cleaning)을 진행한다.
- [0045] 본 발명의 트랜지스터의 채널층(130)인 a-IGZO 박막은 RF 마그네트론 스퍼터링 시스템(magnetron sputtering system)을 사용하여 20 nm 증착하며, 상부 전극(142, 144)인 소스 전극(142) 및 드레인 전극(144)은 DC 마그네트론 스퍼터링 시스템(magnetron sputtering system)을 이용하여 MoW(Molybdenum tungsten)을 100 nm 두께로 증착하는 방식으로 형성한다.
- [0046] 그리고, 유기층(organic layer)이며, 광 반응 역할을 하기 위한 광활성층(150)을 형성하기 위하여, 써멀 이베포레이터(thermal evaporator) 공정을 사용하여 PTCDI-C₁₃ 광활성 박막을 채널층(130), 소스 전극(142) 일부 및 드레인 전극(144) 일부 상에 100 nm 증착한다.
- [0047] 본 발명에서 열 어닐링 공정이 수행된 소자의 경우, 채널층 증착 후에, 100, 200, 300, 400 및 500 °C 로 각각 1시간 동안 박스 퍼니스에서 열처리되었다. 순수 소자(pristine device)의 경우, 열처리 과정이 진행되지 않았다.
- [0048] 본 발명의 실험에서 각 소자의 전기적 특성을 측정하기 위해, HP 4145B 정밀 반도체 파라미터 분석기를 사용하였다. 출력 곡선(Output curve)은 0, 5, 10, 15 및 20V의 게이트 전압(V_{GS})에서 드레인 전압(V_{DS})을 0에서 20V로 스위핑하면서 드레인 전류(I_{DS})를 측정하는 방식으로 기록하고, 전달 곡선(transfer curve)은 V_{DS} = 20V에서 V_{GS}를 -10에서 20V로 스위핑하는 방식으로 측정하였다. 광응답 측정은 8cm 거리에 배치된 광섬유 케이블에 연결된 Thorlabs OSL1-EC 다색 백색 할로겐 광원을 사용하여 수행되었다. 동적 광응답 측정을 위해 66.9mW/cm²의 조도를 갖는 광 펄스가 사용되었으며, 광섬유 끝에 배치된 수동 셔터를 통해 광원의 즉각적인 스위칭이 이루어졌다.
- [0049] 도 2은 PTCDI-C₁₃ 박막이 없는 경우(a)와 PTCDI-C₁₃ 박막이 있는 경우(b)에 다양한 어닐링 온도에서 a-IGZO 채널층을 갖는 소자의 전달 곡선을 도시한 것이다.
- [0050] 도 2을 참조하면, 모든 소자는 더 높은 전압에서 포화 거동과 함께 강한 n-형 특성을 나타내지만, 어닐링 온도와 관련하여 다양한 특성을 나타냈다.
- [0051] a-IGZO 박막만 있는 순수 소자의 경우, 100°C의 어닐링 온도(annealing temperature, T_{Ann})에서 약 10⁻⁷ A에서 상대적으로 높은 OFF 전류(I_{off})가 관찰되었으며, 이는 게이트 전극이 접지될 때 소자가 오프 상태가 아님을 의미한다.
- [0052] I-200을 구비한 소자의 경우, V_{On}은 다소 증가하고 I_{off}는 감소하여 IP 및 I-100을 구비하는 소자보다 훨씬 더 나은 온-오프 비율(I_{ON}/I_{OFF})을 제공한다. T_{Ann}을 더 높이면 I_{ON}/I_{OFF}가 증가하여 I-400을 구비하는 소자의 경우 최대값에 도달하고, I-500을 구비하는 소자의 경우 약간의 I_{off} 증가가 관찰되면서 약간 감소하는 것을 확인할 수 있다.
- [0053] 도 2 (b)에서 PTCDI-C₁₃ 증착 후 소자의 전달 특성이 도시되어 있다.
- [0054] 도 2 (a)와 (b)를 비교하면, 양자가 유사한 특성을 보이나, 500°C에서 어닐링된 a-IGZO를 구비하는 소자의 경우, I-500-P를 구비하는 소자가 I-500을 구비하는 소자에 비해 V_{On}이 감소한 것을 확인할 수 있다. 그러나 일

반적으로 유기물질의 상부층이 a-IGZO 채널층의 전하 수송에 큰 영향을 미치는 것은 아닌 것으로 나타났다.

- [0055] 도 3는 상단 레이어가 없는 소자(a)와 상단 레이어가 있는 소자(b)의 전자 이동도, 임계 전압, 온-오프 비 및 서브쓰레숄드(subthreshold) 스윙을 도시한 그래프이다. 도 3에서 (a)는 PTCDI-C₁₃ 상단 레이어가 없는 소자이고, (b)는 PTCDI-C₁₃ 상단 레이어가 있는 소자의 전기적 특성을 도시한 것이다.
- [0056] 도 3에서, 본 발명의 실험을 위해 제작된 모든 트랜지스터 소자의 전달 곡선을 평가하고, PTCDI-C₁₃ 상단 레이어 증착 전과 후의 트랜지스터 소자의 전자 이동도(μ), V_{Th} , I_{ON}/I_{OFF} , 서브쓰레숄드 스윙(SS)을 계산하고, 이를 그래프로 표시하였다.
- [0057] 도 3를 참조하면, 상단 레이어가 없는 베어(bare) a-IGZO 채널층을 구비한 소자의 경우, T_{Ann} 이 400℃에 도달하면, μ 가 급격히 증가하는 것으로 나타났다. V_{Th} 는 T_{Ann} 의 증가에 따라 먼저 증가 하지만 400℃ 이상에서 다시 감소한다.
- [0058] I-P와 I-100을 구비한 소자에서의 I_{ON}/I_{OFF} 는 상대적으로 낮고, $T_{Ann} = 400^\circ\text{C}$ 에서 높은 μ 와 낮은 V_{Th} 로 인해 증가하여 최대 약 800에 도달한다. 그러나 I-500이 있는 소자는 I-400이 있는 소자에 비해 I_{ON}/I_{OFF} 가 약간 감소한 것으로 나타났다. SS는 낮은 T_{Ann} 에서 상대적으로 높았고 T_{Ann} 이 증가함에 따라 개선되었으며, I-300, I-400 및 I-500이 있는 장치에 대해 유사한 낮은 값이 기록되었다.
- [0059] 도 3 (b)에서 PTCDI-C₁₃ 증착 후 수집된 특성과 비교하면, 어닐링 온도로 인한 거의 유사한 결과가 얻어졌다. 유일하게 $T_{Ann} = 500^\circ\text{C}$ 에서 어닐링된 a-IGZO에 대해 PTCDI-C₁₃ 상부 박막으로 인한 중요한 변화가 관찰되었는데, I-500을 구비한 소자의 약 $10\text{ cm}^2\text{V}^{-1}\text{s}^{-1}$ 에서 I-500-P를 구비한 소자의 약 $9\text{ cm}^2\text{V}^{-1}\text{s}^{-1}$ 로 평균 이동도가 감소되었고, 평균 V_{Th} 가 약 3V에서 1V로 감소되었으나, I_{ON}/I_{OFF} 및 SS에는 영향이 미치지 않는 것을 확인할 수 있다.
- [0060] 도 4는 순수(pristine) 상태의 a-IGZO 박막 및 열처리된 a-IGZO 박막 상에 증착된 PTCDI-C₁₃ 박막의 X선 회절도(diffractogram)(a)와, XRD 피크 영역의 온도 의존성(b)을 도시한 것이다.
- [0061] 도 4 (a)에서 각각 다른 온도에서 어닐링된 a-IGZO 상에 있는 PTCDI-C₁₃ 층의 결정성을 분석하기 위해 박막의 X선 회절도를 분석하여 도시하였다.
- [0062] 도 4를 참조하면, 6.7° , 10.1° 및 16.4° 의 2θ 에서의 피크(peak)는 각각 1.3, 0.87 및 0.54nm의 d 간격에 해당한다. c 결정학적(crystallographic) 축에서 삼사정계(triclinic) PTCDI-C₁₃ 결정의 단위 셀 크기는 약 2.5nm이고, 이는 관찰된 피크가 모든 박막에 대해 (002), (003) 및 (005) 평면에 해당함을 시사한다. 이러한 결과는 금속 산화물의 어닐링 조건과 무관하게 a-IGZO 위에 에지-온(edge-on) 정렬로 성장한 PTCDI-C₁₃ 다결정막과 일치한다.
- [0063] 관찰된 각 피크에 대한 피크 영역(peak area)이 계산되고, 그 결과가 도 4 (b)에 도시되어 있다. (002) 및 (003) 피크의 피크 면적이 300℃에서 시작하여 더 높은 T_{Ann} 에서 감소하고, (005) 피크는 400℃ 및 500℃ T_{Ann} 의 온도로 열처리한 박막에서 증가된 면적을 보여주기 때문에, 동일한 XRD 측정 조건에서 피크 크기에서 관찰된 작은 차이는 PTCDI-C₁₃의 패킹에 약간의 차이가 있음을 시사한다. 서로 다른 어닐링 조건에서 a-IGZO 표면 특성이 변경되어 두 재료 간에 서로 다른 상호 작용이 발생하기 때문에, 이러한 작은 차이가 발생할 수 있다.
- [0064] 광응답 측정의 경우, 가시 스펙트럼에서 a-IGZO 층의 낮은 흡광도로 인해 PTCDI-C₁₃ 상단 층이 없는 소자는 조명에 대한 응답이 상대적으로 낮을 것으로 예상된다. 반면에 PTCDI-C₁₃은 가시 광선에 대해 훨씬 낮은 밴드갭과 높은 흡수율을 가지며, 특히 PTCDI-C₁₃ 박막의 색상에 반사되는 600nm 미만의 파장에서 더 그러하다.
- [0065] 도 5은 a-IGZO/PTCDI-C₁₃ 채널의 개략적인 단면도를 도시한 것이다.
- [0066] 도 5에서 a-IGZO/PTCDI-C₁₃ 채널의 개략적인 단면도가 도시되어 있는데, 암실에서의 전하 수송 예상 메커니즘(a), PTCDI-C₁₃ 최상층에서 전하 캐리어의 광 생성에 대한 예상 메커니즘(b)과, MoW 소스 전극에서 전자 주입 시

의 에너지 밴드 다이어그램(c), 국부 상태(localized state)에서 광 생성 정공(photo generated hole)의 트래핑(trapping)과 함께 PTCDI-C₁₃ 에서 a-IGZO로 광 생성 전자 주입 시의 에너지 밴드 다이어그램(d)이 도시되어 있다.

[0067] 도 5 (a)를 참조하면, PTCDI-C₁₃ 상단 층이 있는 소자에서, 고유 전자 밀도를 갖는 a-IGZO 및 채널을 통해 효율적인 전하 수송을 하기 위한 MOW 전극으로부터의 용이한 주입에 의해, 반도체 구동이 이루어진다. 그러나 적절한 광원으로 조명하면, 광자(photons)는 최고 점유 분자 궤도(highest occupied molecular orbital, HOMO)에서 최저 비점유 분자 궤도(the lowest unoccupied molecular orbital, LUMO)로 전자를 여기시켜 정공-전자 쌍을 생성할 수 있다.

[0068] 도 5 (b)에서 a-IGZO와 PTCDI-C₁₃사이의 인터페이스가 전하 캐리어의 이동을 허용하는 경우 광 생성 전자가 채널의 전류에 기여할 수 있음을 알 수 있다.

[0069] 도 5 (c)에서, 전기적으로 ON 상태인 양(positive)의 게이트 전압에서 소자의 에너지 밴드 구조를 고려하면, MoW로부터 용이하게 전자를 주입할 수 있고, 금속 일 함수(metal work function)(5.0 eV)가 a-IGZO의 CB 에지(4.2 eV)에 비교적 잘 정렬된다. 또한, PTCDI-C₁₃ 과 같은 페릴렌테트라카복실산 디이미드 유도체(perylenetetracarboxylic diimide derivatives)의 LUMO 에너지 레벨은 약 3.4~3.9 eV로 측정된다, 따라서 PTCDI-C₁₃ LUMO 에너지는 a-IGZO의 CB와도 잘 매칭된다.

[0070] 도 5 (d)을 참조하면, 에너지 밴드 정렬은 유기-무기 인터페이스를 통한 전자의 이동을 촉진할 것으로 예상된다. 광 생성 홀(photo generated hole)의 경우, PTCDI-C₁₃ 의 국부적 상태가 홀을 가둘 것으로 예상된다. 여기서, 홀 트랩 사이트가 붉은 색으로 표시되어 있다. 트래핑된 정공(trapped hole)은 소자에서 과도한 양전하를 운반하고 가상 게이트 전극으로 작용함으로써, V_{th} 를 감소시키고 포토게이팅(photogating) 효과를 통해 전류를 증가시킨다.

[0071] 이를 테스트하고 PTCDI-C₁₃ 광활성 층이 있는 소자나 없는 소자의 광응답 구동을 분석하기 위해, 300, 400 및 500° C에서 어닐링된 a-IGZO가 있는 기판에서 각각 3-3개의 트랜지스터 채널을 선택하였다. 이 중에서 하나는 조도의 함수로서 광반응을 평가하는 데 사용되었고, 하나는 조사 시간의 함수로 광반응을 평가하는 데 사용되었으며, 다른 하나는 동적 광반응 측정에 사용되었다. PTCDI-C₁₃ 증착 전후에 각 채널에 대해 동일한 실험을 수행하였다.

[0072] 도 6은 PTCDI-C₁₃ 상단 레이어가 있는 소자와 없는 소자에 대한 광응답을 비교한 그래프이다.

[0073] 도 6에서 (a) I-300, I-300-P, (b) I-400, I-400-P, (c) I-500, I-500-P 를 갖는 소자의 방사조도(irradiance) 함수에 따른 임계 전압 이동을 도시한 것이고, (d) I-300, I-300-P, (e) I-400, I-400-P, (f) I-500, I-500-P 를 갖는 소자의 연속 조사 조건에서 방사조도 함수에 따른 임계 전압 이동을 도시한 것이다.

[0074] 광반응의 조도 의존성 및 조사 시간 의존성을 평가하기 위해 먼저 전달 곡선을 암 조건에서 평가하고 V_{th} 를 계산하였다. 그 다음, 2.5 ~ 66.9 mW/cm² 의 조도를 갖는 조명 하에서 전달 곡선을 평가하였고, ΔV_{th} 는 조명 하에서의 V_{th} 와 어두운 곳에서의 V_{th} 의 차이로 계산하였다.

[0075] 도 6 (a), (b), (c)를 참조하면, ΔV_{th} 값 은 모든 소자에 대해 음수인 것으로 밝혀졌으며, 조도가 증가함에 따라 비선형 변화를 나타내는 것으로 나타났고, 이는 트랩된 홀로 인한 포토게이팅 효과와 일치한다. PTCDI-C₁₃ 광활성층이 없는 소자(I-300, I-400, I-500)에 대한 ΔV_{th} 는 가장 높은 조도에서 -1 ~ -2 V인데, 이는 a-IGZO의 높은 투과율 때문이다. 가시광선의 경우 적은 수의 흡수된 광자만 생성되고 적은 양의 광 생성 전하 캐리어만 생성된다.

[0076] 도 6 (a)에서 보는 바와 같이, T_{amb} = 300°C인 소자 의 경우, PTCDI-C₁₃ 이 없는 소자(I-300)는 광활성 층이 있는 소자(I-300-P)보다 더 높은 광 응답을 보였다. 이는 두 층 사이의 전하 이동이 잘 이루어지지 않기 때문일 수 있다. PTCDI-C₁₃ 은 빛을 흡수하여 a-IGZO 내부의 광 생성을 낮추는 반면, PTCDI-C₁₃ 상단 레이어의 광생성 캐리어는 광전류에 기여하지 않는다.

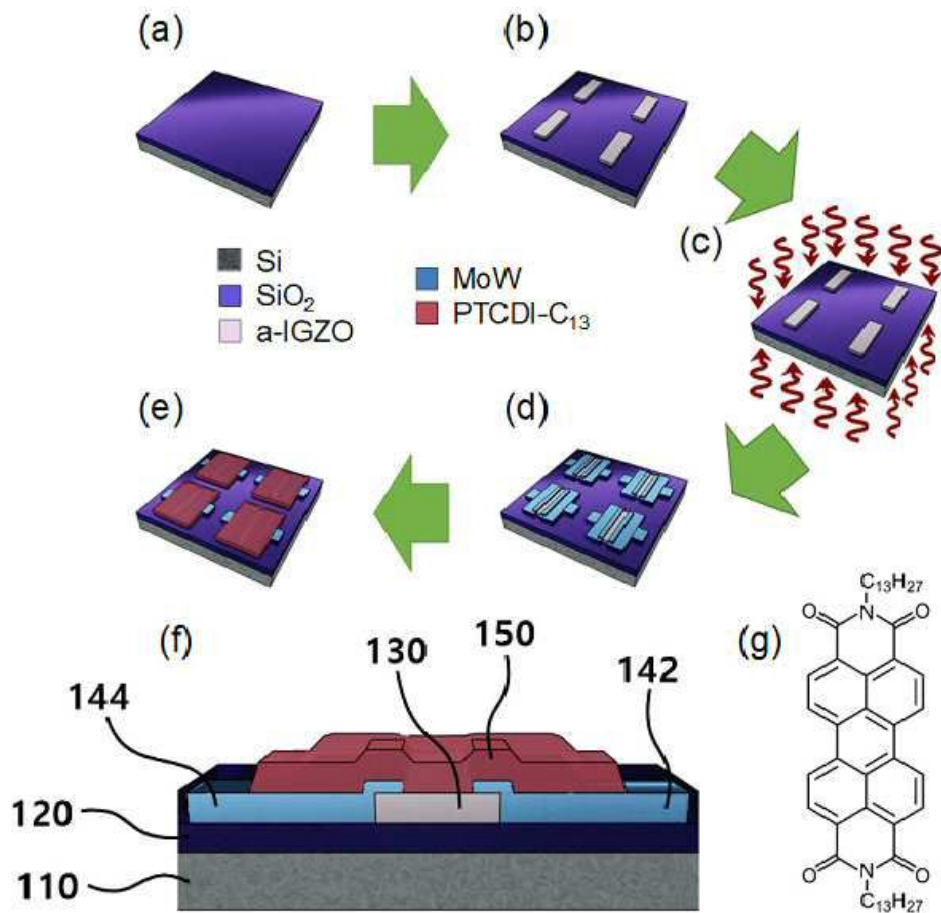
- [0077] 그러나 도 6 (b)에서 I-400 및 I-400-P가 있는 소자의 경우, 두 곡선이 유사하며, 이는 a-IGZO에 흡수된 더 적은 양의 광자가 a-IGZO 박막을 횡단하는 PTCDI-C₁₃ 에서 광생성된 전하에 의해 보상되었음을 나타낸다.
- [0078] 도 6 (c)에서 T_{ann} = 500℃인 소자의 경우, PTCDI-C₁₃ 이 있는 소자(I-500-P)는 a-IGZO만 있는 소자(I-500)보다 훨씬 더 높은 광응답을 달성했으며, 이는 다음과 같은 것을 의미한다. 즉, 500℃의 어닐링 온도에서 a-IGZO/PTCDI-C₁₃ 인터페이스가 유기층과 무기층 사이의 효율적인 전하 이동을 위해 충분히 개선되었음을 의미한다.
- [0079] 다음, ΔV_{th} 의 시간 의존성을 분석하기 위해, 먼저 어두운 곳에서 전달 곡선을 기록하고, 66.9 mW/cm² 조도의 조명하에서 여러 번 기록하였다. 광 응답의 시간 의존성을 비교하기 위해 조명 하에서의 첫 번째 측정은 t = 0s 로 시작하였다.
- [0080] 도 6 (d)~(f) 를 참조하면, PTCDI-C₁₃ 상단 레이어가 없는 세 장치 모두에 대해 ΔV_{th} 는 약 -1 ~ -2V에 도달했으며, 전달 곡선을 기록하는 몇 주기 후에 50초 이내에 포화 상태가 되었다. I-300-P는 I-300과 매우 유사한 구동을 보인 반면, I-400-P의 경우 I-400에 비해 더 높은 광 반응이 달성되었으며, 시간이 지남에 따라 더 증가했다. I-500-P가 있는 소자는 훨씬 더 느린 포화로 가장 강한 광반응을 나타내어, 200초 안에 -6V 의 ΔV_{th} 를 달성했으며, 이는 I-500이 있는 소자의 경우에 비해 3배 더 높은 수치이다.
- [0081] 이상에서 기술한 바와 같이, 본 발명에서 a-IGZO 채널층과 PTCDI-C₁₃ 광활성 층을 가진 소자를 제작하고 분석하였다. 여기서, a-IGZO의 성능을 향상시키고 두 층 사이의 상호 작용을 개선하기 위해 금속 산화물층은 다양한 온도에서 어닐링되었다. PTCDI-C₁₃ 광활성 층이 있는 소자와 없는 소자의 전기적 성능 파라미터를 평가한 결과, a-IGZO는 500° C에서 열 어닐링된 경우에, 소자의 전기적 특성에 영향을 미치는 것을 확인할 수 있다. XRD 측정은 a-IGZO 위에 PTCDI-C₁₃ 의 패킹 방향을 확인하는데 사용되었으며, a-IGZO의 어닐링 온도와 관련하여 피크 위치의 변화는 관찰되지 않았으며, 피크 면적의 약간의 변화만 관찰되었다. 성능이 가장 좋은 소자에 대한 광응답에 따르면 무기물층과 유기물층의 두 층 간의 상호작용이 제대로 최적화되지 않으면 PTCDI-C₁₃ 층이 실제로 입사 광자를 흡수하여 광응답을 방해하지만, 최적화된 소자의 경우 광발생 전하가 a-IGZO 채널층으로 전송될 수 있으므로, 트랜지스터의 광응답 동작이 크게 향상된다. 본 발명에 의하면, 광활성층의 적절한 조정을 통해 이동도가 높은 무기 반도체와 광활성이 높은 유기 반도체를 결합하여 효과적인 광검출 장치를 달성할 수 있고, 고성능 광전자 장치 분야에 활용될 수 있을 것으로 기대된다.
- [0082] 이상 본 발명을 몇 가지 바람직한 실시 예를 사용하여 설명하였으나, 이들 실시 예는 예시적인 것이며 한정적인 것이 아니다. 본 발명이 속하는 기술분야에서 통상의 지식을 지닌 자라면 본 발명의 사상과 첨부된 특허청구범위에 제시된 권리범위에서 벗어나지 않으면서 다양한 변화와 수정을 가할 수 있음을 이해할 것이다.

부호의 설명

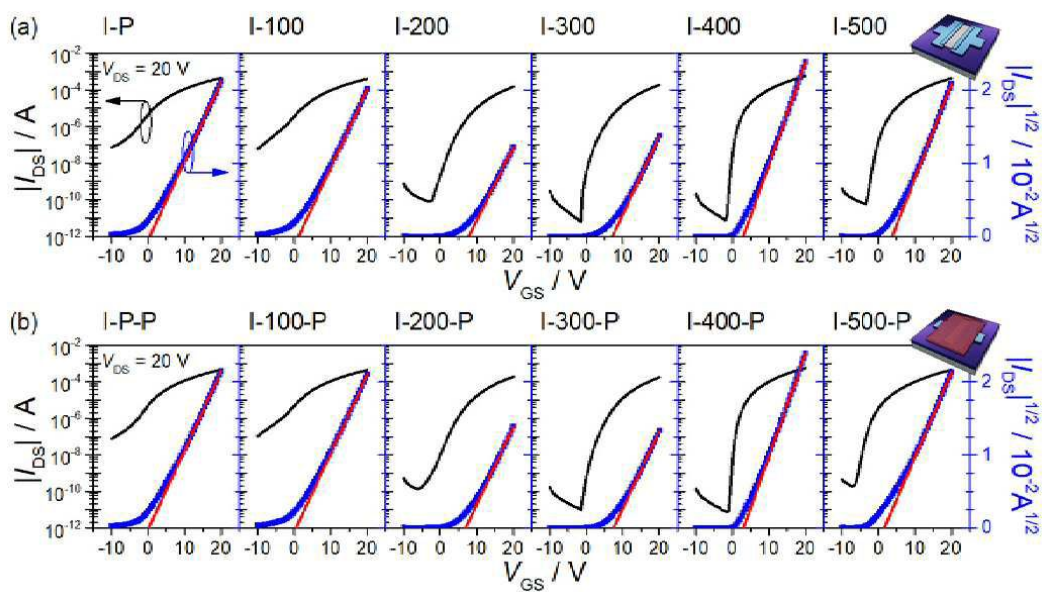
- [0084]
- | | | | |
|-----|------|----------|-------|
| 110 | 기판 | 120 | 절연층 |
| 130 | 채널층 | 142, 144 | 상부 전극 |
| 150 | 광활성층 | | |

도면

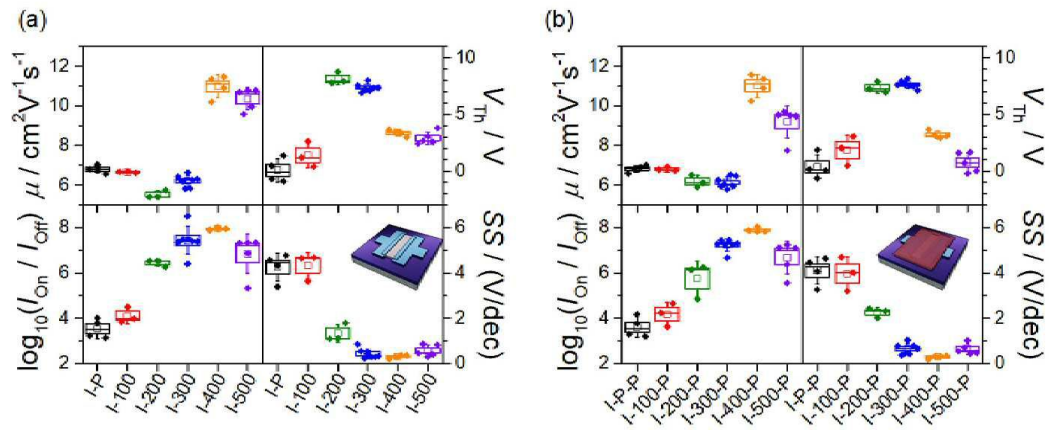
도면1



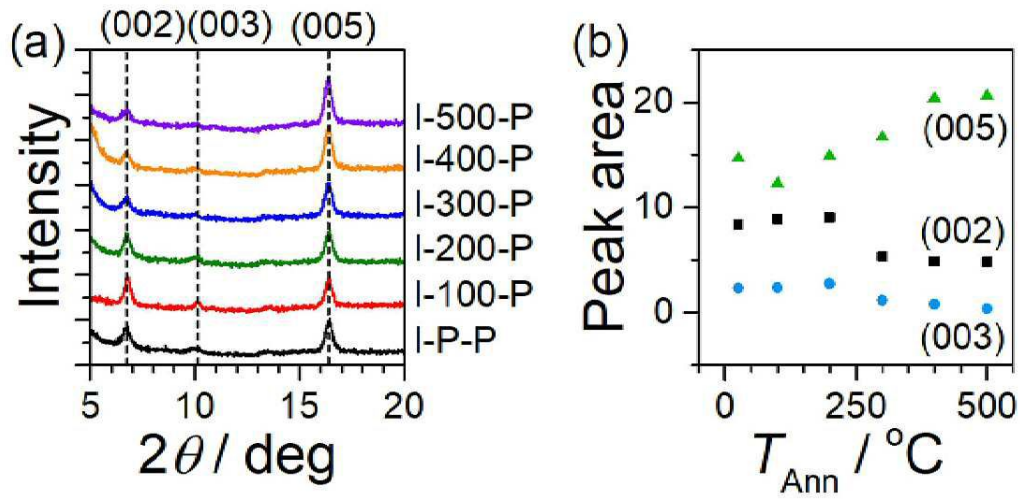
도면2



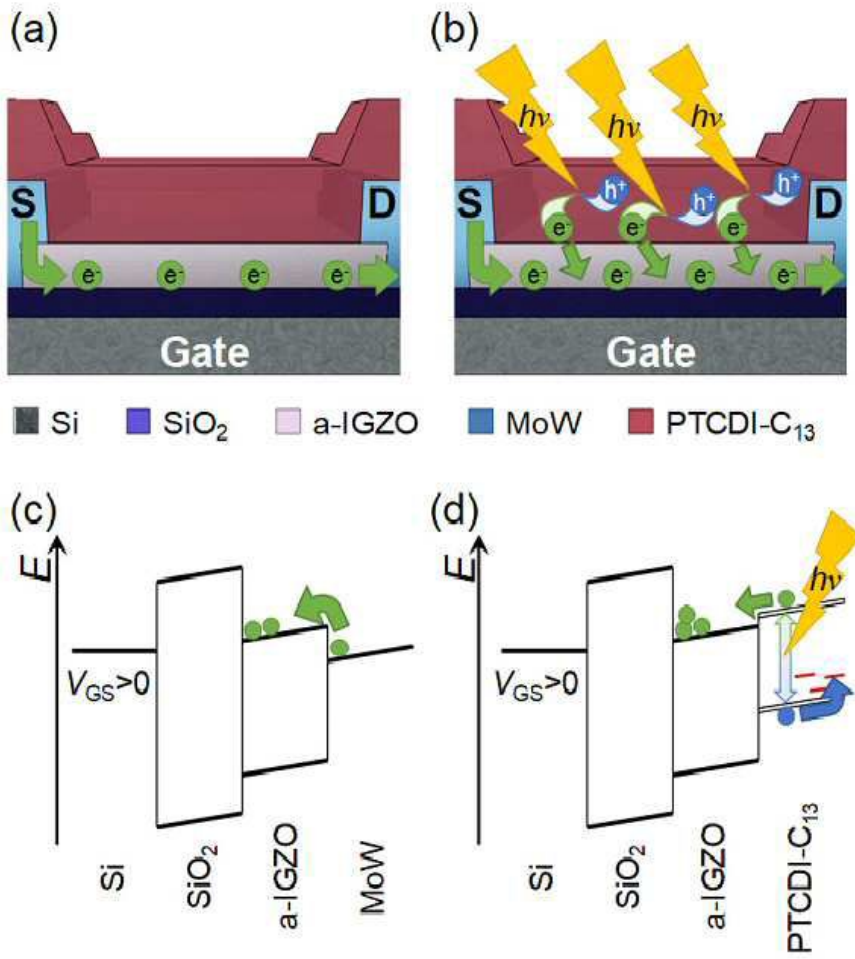
도면3



도면4



도면5



도면6

