

(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2024-0161247

(43) 공개일자 2024년11월12일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)

H10K 10/46 (2023.01) C09K 11/02 (2006.01)

C09K 11/74 (2006.01) H10K 10/82 (2023.01)

(52) CPC특허분류

H10K 10/486 (2023.02)

C09K 11/025 (2021.01)

(21) 출원번호 10-2023-0058081

(22) 출원일자 2023년05월04일

심사청구일자 2023년05월04일

(71) 출원인

고려대학교 산학협력단

서울특별시 성북구 안암로 145, 고려대학교 (안암동5가)

(72) 발명자

성태연

서울특별시 서초구 잠원로 60, 107동 801호(잠원동, 신반포자이)

김종호

경기도 평택시 세교6로 46, 104동 1502호(세교동, 힐스테이트 평택)

(뒷면에 계속)

(74) 대리인

김연권

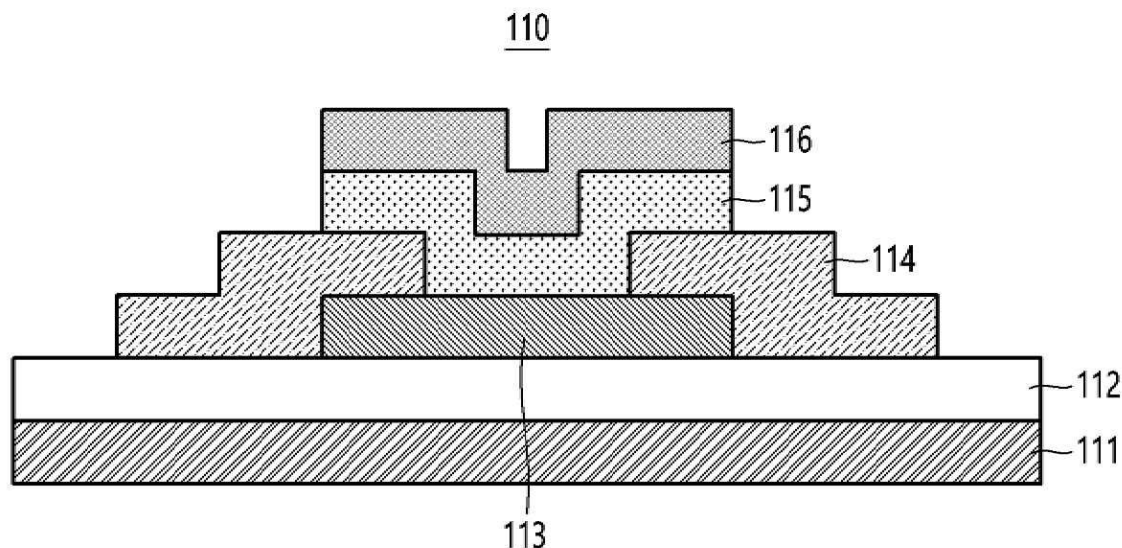
전체 청구항 수 : 총 18 항

(54) 발명의 명칭 하이브리드 포토트랜지스터 및 이의 제조 방법

(57) 요약

본 발명은 하이브리드 포토트랜지스터 및 이의 제조 방법에 관한 것으로, 본 발명의 일실시예에 따른 하이브리드 포토트랜지스터는 게이트 전극, 캐리어수송층, 소스 드레인 전극 및 적어도 하나의 광흡수층을 포함하고, 상기 캐리어수송층은 비정질 금속 산화물로 생성되며, 상기 적어도 하나의 광흡수층은 양자점 물질로 생성되고, 상기 캐리어수송층과 상기 적어도 하나의 광흡수층은 이중 접합 구조를 이루며, 상기 이중 접합 구조는 입사되는 광에 대하여 광 검출 특성을 증가시킬 수 있다.

대표도 - 도1b



(52) CPC특허분류

C09K 11/7492 (2013.01)

H10K 10/466 (2023.02)

H10K 10/82 (2023.02)

(72) 발명자

오승주

서울특별시 중구 청구로 64, 113동 104호(신당동,
청구e편한세상)

정병구

서울특별시 성북구 고려대로13길 26, 103호(
안암동2가, 반석빌딩)

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호 1711157365

과제번호 2022R1A2C2006887

부처명 과학기술정보통신부

과제관리(전문)기관명 한국연구재단

연구사업명 (이공)(유형1-2)중견연구(연평균연구비 1억원~2억원 이내)

연구과제명 지능형 뉴로모픽 소자를 위한 균일 배향 복합차원 페로브스카이트 기반의 생물학적

광수용체 모방 연구

기 여 율 1/1

과제수행기관명 고려대학교

연구기간 2022.03.01 ~ 2023.02.28

명세서

청구범위

청구항 1

게이트 전극; 게이트 절연층; 캐리어수송층; 소스 드레인 전극 및 적어도 하나의 광흡수층을 포함하고,
상기 캐리어수송층은 비정질 금속 산화물로 생성되며,
상기 적어도 하나의 광흡수층은 양자점 물질로 생성되고,
상기 캐리어수송층과 상기 적어도 하나의 광흡수층은 이중 접합 구조를 이루며,
상기 이중 접합 구조는 입사되는 광에 대하여 광 검출 특성을 증가시키는 것을 특징으로 하는
하이브리드 포토트랜지스터.

청구항 2

제1항에 있어서,
상기 적어도 하나의 광흡수층은 상기 양자점 물질이 리간드 치환된 물질로 형성되고,
상기 리간드 치환된 물질은 칼코게나이드 이온, 할라이드 이온, 3-Mercaptopropionic acid(MPA), 1,2-ethanedithiol(EDT), 2-Mercaptoethanol(ME) 중 적어도 하나를 포함하는 것을 특징으로 하는
하이브리드 포토트랜지스터.

청구항 3

제1항에 있어서,
상기 적어도 하나의 광흡수층은 제1 광흡수층과 제2 광흡수층 중 적어도 하나를 포함하고,
상기 제1 광흡수층은 상기 양자점 물질인 InAs에 제1 리간드 물질인 ME가 치환된 InAs-ME로 형성되고,
상기 제2 광흡수층은 상기 양자점 물질인 InAs에 제2 리간드 물질인 InCl₃가 치환된 InAs-InCl₃로 형성되는 것을
특징으로 하는
하이브리드 포토트랜지스터.

청구항 4

제3항에 있어서,
상기 적어도 하나의 광흡수층은 상기 제1 광흡수층 상에 상기 제2 광흡수층이 형성되어 상기 제1 리간드 물질과
상기 제2 리간드 물질에 기반하여 구배 밴드 구조(Gradient bandgap structure)를 형성하는 것을 특징으로 하는
하이브리드 포토트랜지스터.

청구항 5

제4항에 있어서,
상기 적어도 하나의 광흡수층은 상기 제1 광흡수층으로 형성되는 경우와 상기 제1 광흡수층 상에 상기 제2 광흡수층이 추가적으로 형성되는 경우가 광여기 캐리어(photo-excited carrier) 양이 동일하도록 두께가 동일하게
형성되는 것을 특징으로 하는
하이브리드 포토트랜지스터.

청구항 6

제1항에 있어서,

상기 적어도 하나의 광흡수층에서 상기 입사되는 광에 의하여 전자 정공 쌍을 형성하고, 상기 형성된 전자 정공 쌍은 상기 게이트 전극을 통해 인가된 전압과 내부 전위(built-in potential)에 의해 분리되어 상기 캐리어수송층으로 이동하고, 상기 소스 드레인 전극으로 이동하여 순환됨에 따라 상기 입사되는 광을 검출하는 것을 특징으로 하는

하이브리드 포토트랜지스터.

청구항 7

제1항에 있어서,

상기 캐리어수송층은 n형 반도체 특성을 갖고, 캐리어 이동도를 증가시키며, 오프 전류(off-current)를 감소시키고, 비활성화된 산소 공공(oxygen vacancy, V_O)을 가지는 비정질 금속 산화물로 형성되고,

상기 비정질 금속 산화물은 ZnON을 포함하는 것을 특징으로 하는

하이브리드 포토트랜지스터.

청구항 8

제1항에 있어서,

패시베이션층을 더 포함하고,

상기 게이트 전극 상에 상기 게이트 절연층이 형성되며,

상기 게이트 절연층 상에 캐리어수송층이 형성되고,

상기 캐리어수송층 상에 상기 소스 드레인 전극이 형성되며,

상기 캐리어수송층 상에 상기 적어도 하나의 광흡수층이 형성되고,

상기 게이트 절연층, 상기 소스 드레인 전극 및 상기 적어도 하나의 광흡수층 상에 상기 패시베이션층이 형성되는 것을 특징으로 하는

하이브리드 포토트랜지스터.

청구항 9

제8항에 있어서,

상기 패시베이션층은 O, S, F, Cl, Br, I, 3-Mercaptopropionic acid(MPA), 1,2-ethanedithiol(EDT), 2-Mercaptoethanol(ME) 중 적어도 하나로 형성되는 것을 특징으로 하는

하이브리드 포토트랜지스터.

청구항 10

제1항에 있어서,

상기 캐리어수송층의 두께는 10nm 내지 50nm로 형성되고,

상기 적어도 하나의 광흡수층은 10nm 내지 20nm로 형성되는 것을 특징으로 하는

하이브리드 포토트랜지스터.

청구항 11

제1항에 있어서,

상기 소스 드레인 전극은 Ti, Al, Mo, ITO, Au, Cr, Zn, Sn, Ag, Cu 및 W 중 어느 하나의 금속 및 전도성 산화물 또는 혼합물로 형성되는 것을 특징으로 하는

하이브리드 포토트랜지스터.

청구항 12

게이트 전극을 형성하는 단계;

상기 게이트 전극 상에 게이트 절연층을 형성하는 단계;

상기 게이트 절연층 상에 캐리어수송층을 형성하는 단계;

상기 캐리어수송층 상에 소스 드레인 전극을 형성하는 단계;

상기 캐리어수송층 상에 적어도 하나의 광흡수층을 형성하는 단계를 포함하고,

상기 캐리어수송층은 비정질 금속 산화물로 생성되며,

상기 적어도 하나의 광흡수층은 양자점 물질로 생성되고,

상기 캐리어수송층과 상기 적어도 하나의 광흡수층은 이중 접합 구조를 이루며,

상기 이중 접합 구조는 입사되는 광에 대하여 광 검출 특성을 증가시키는 것을 특징으로 하는

하이브리드 포토트랜지스터의 제조 방법.

청구항 13

제12항에 있어서,

상기 적어도 하나의 광흡수층은 상기 양자점 물질이 리간드 치환된 물질로 형성되고,

상기 리간드 치환된 물질은 칼코게나이드 이온, 할라이드 이온, 3-Mercaptopropionic acid(MPA), 1,2-ethanedithiol(EDT), 2-Mercaptoethanol(ME) 중 적어도 하나를 포함하는 것을 특징으로 하는

하이브리드 포토트랜지스터의 제조 방법.

청구항 14

제12항에 있어서,

상기 캐리어수송층 상에 적어도 하나의 광흡수층을 형성하는 단계는

상기 적어도 하나의 광흡수층 중 제1 광흡수층을 형성하는 단계를 포함하고,

상기 적어도 하나의 광흡수층 중 제2 광흡수층을 형성하는 단계를 더 포함하며,

상기 제1 광흡수층은 상기 양자점 물질인 InAs에 제1 리간드 물질인 ME가 치환된 InAs-ME로 형성되고,

상기 제2 광흡수층은 상기 양자점 물질인 InAs에 제2 리간드 물질인 InCl₃가 치환된 InAs-InCl₃로 형성되는 것을 특징으로 하는

하이브리드 포토트랜지스터의 제조 방법.

청구항 15

제14항에 있어서,

상기 적어도 하나의 광흡수층은 상기 제1 광흡수층 상에 상기 제2 광흡수층이 형성되어 상기 제1 리간드 물질과 상기 제2 리간드 물질에 기반하여 구배 밴드 구조(Gradient bandgap structure)를 형성하는 것을 특징으로 하는

하이브리드 포토트랜지스터의 제조 방법.

청구항 16

제12항에 있어서,

상기 게이트 절연층 상에 캐리어수송층을 형성하는 단계는,

n형 반도체 특성을 갖고, 캐리어 이동도를 증가시키며, 오프 전류(off-current)를 감소시키고, 비활성화된 산소 공공(oxygen vacancy, V_o)을 가지는 ZnON을 포함하는 비정질 금속 산화물로 상기 캐리어수송층을 형성하는 단계를 포함하는 것을 특징으로 하는

하이브리드 포토트랜지스터의 제조 방법.

청구항 17

제12항에 있어서,

O, S, F, Cl, Br, I, 3-Mercaptopropionic acid(MPA), 1,2-ethanedithiol(EDT), 2-Mercaptoethanol(ME) 중 적어도 하나로 상기 게이트 절연층, 상기 소스 드레인 전극 및 상기 적어도 하나의 광흡수층 상에 패시베이션층을 형성하는 단계를 더 포함하는 것을 특징으로 하는

하이브리드 포토트랜지스터의 제조 방법.

청구항 18

제12항에 있어서,

상기 캐리어수송층의 두께는 10nm 내지 50nm로 형성되고,

상기 적어도 하나의 광흡수층은 10nm 내지 20nm로 형성되는 것을 특징으로 하는

하이브리드 포토트랜지스터의 제조 방법.

발명의 설명

기술 분야

[0001] 본 발명은 하이브리드 포토트랜지스터 및 이의 제조 방법에 관한 것으로, 보다 구체적으로, 흡광 특성이 우수하고 독성이 적은 물질과 전기적 특성이 우수한 물질의 이중 접합을 박막 트랜지스터 구조에 적용하여 광 검출 특성을 높인 하이브리드 포토트랜지스터를 제조하는 기술에 관한 것이다.

배경 기술

[0002] 비정질 금속 산화물 반도체 박막 트랜지스터(Amorphous metal-oxide semiconductor thin-film transistor, AOS-TFT)는 타 응용 범위의 확장성, 낮은 오프 전류 및 높은 성능의 균일성으로 인해 디스플레이 패널 구동 장치, 바이오 센서, 가스 센서 및 광센서 등 다양한 분야의 응용 분야에서 널리 연구되어 왔다.

[0003] 이러한 비정질 금속 산화물 반도체의 장점을 이용하여 광센서의 여러 구조 중 하이브리드 박막 포토트랜지스터(Hybrid thin-film phototransistor)는 광 흡수 및 캐리어 생산의 역할과 캐리어 수송의 역할을 분리한 구조로 약한 광출력에서도 높은 광 이득(Photogain)을 얻을 수 있는 구조로 유망한 광센서 소자로 각광받고 있다.

[0004] 하이브리드 박막 포토트랜지스터는 광흡수층에서 외부에서 조사된 빛을 흡수하고 흡수된 빛에 의해 전자-정공 쌍을 형성한다.

[0005] 형성된 전자-정공 쌍은 게이트 전극에 인가된 전압과 내부 전위(built-in potential)에 의해 분리되어 캐리어수송층으로 이동하며, 캐리어수송층에서 소스 전극 및 드레인 전극으로 이동할 수 있다.

[0006] 또한, 광흡수층에 남겨져 있는 캐리어가 감쇄할 때까지 캐리어수송층 내의 캐리어가 계속 순환하며, 이를 통해 증가한 광 이득을 얻을 수 있다.

[0007] 최근 AOS-TFT와 콜로이드 양자점(Colloidal quantum dots, CQD), 페로브스카이트 및 공액 고분자(Conjugated polymer)와 같은 흡광 물질을 이중 접합한 근적외선(Near-infrared, NIR) 감지 소자를 개발하기 위한 연구들이 진행되고 있다.

[0008] 이 중 CQD는 조정 가능한 밴드갭(Bandgap)과 높은 흡광 계수(Absorption coefficient)의 장점을 가져 하이브리드 포토트랜지스터에 적용하기에 적합한 물질로 활발히 연구되고 있다.

[0009] 그러나 양자점(Quantum dots, QD)층의 낮은 이동도와 QD층 내의 전하 축적은 포토트랜지스터의 성능을 저하시키

는 원인이다.

- [0010] 또한, 기존에 광감응을 위해 주로 사용되어 온 납(Pb), 카드뮴(Cd) 기반의 QD가 가지는 인체와 환경에 대해 매우 큰 유독성은 상용화되기에 부적합한 특성으로 작용한다.
- [0011] 한편, 비정질 금속 산화물 반도체만을 사용한 포토트랜지스터는 감지 파장이 450 nm 이하로 제한되며, 전계 효과 이동도가 $10 \text{ cm}^2/\text{Vs}$ 수준에 불과하며, 빛을 비추지 않을 때도 높은 지속성 광전류(Persistent photoconductivity, PPC)가 발생하는 단점을 가지고 있다.
- [0012] 여기서 PPC는 조명 아래에서 산소 공공(Oxygen vacancy, V_O)의 이온화에 의해 발생하는 현상이며, 포토트랜지스터가 초기 상태(빛을 받기 전의 상태)로 복귀하는 시간 및 하락 시간(Fall time)을 증가시킨다.
- [0013] 즉, PPC가 크다는 것은 빛을 인가하기 전의 전류값보다 빛을 인가하였다가 중단했을 때의 전류값이 더 크다는 것을 의미한다.
- [0014] 한편, n형 반도체의 특성을 갖는 아연 산질화물(Zinc oxynitride, ZnON)은 아래와 같은 특성을 가져, 비정질 금속 산화물 반도체와 QD층의 문제를 해결하는 대안이 될 수 있다.
- [0015] 먼저, ZnON에서는 N 2p 오비탈이 V_O 상태를 덮기 때문에 PPC 효과를 억제하여 소자의 회복시간을 줄여줄 수 있다.
- [0016] 또한, ZnON은 0.19 m_e 의 낮은 유효 질량과 전자가 이동하는 전도대 최솟값(Conduction band minima)의 포텐셜 변동이 매우 적기 때문에 $50 \text{ cm}^2/\text{Vs}$ 이상의 높은 이동도를 가지게 되며, 이는 QD층의 낮은 이동도를 보완하여 우수한 성능을 획득하게끔 하는 중요한 특성으로 작용할 수 있다.
- [0017] 따라서, NIR에서 더 우수한 성능을 갖는 QD/비정질 금속 산화물 반도체 기반의 하이브리드 포토트랜지스터를 개발하기 위해서는 종래 Pb 기반 QD의 독성, QD 자체의 낮은 이동도 및 높은 내부 전하 축적도가 해결되어야 하며, 이와 더불어 비정질 금속 산화물 반도체에서 필연적으로 발생하는 PPC 효과를 개선할 필요가 있다.

선행기술문헌

특허문헌

- [0018] (특허문헌 0001) 한국등록특허 제10-0666524호, "유기 박막 포토트랜지스터"
- (특허문헌 0002) 한국등록특허 제10-1919667호, "유기물을 포함하는 포토트랜지스터 및 그 제조 방법"

발명의 내용

해결하려는 과제

- [0019] 본 발명은 흡광 특성이 우수하고 독성이 적은 물질과 전기적 특성이 우수한 물질의 이종 접합을 박막 트랜지스터 구조에 적용하여 광 검출 특성을 높인 하이브리드 포토트랜지스터를 제조하는 것을 목적으로 한다.
- [0020] 본 발명은 양자점 물질과 비정질 금속 산화물 반도체 기반의 하이브리드 포토트랜지스터에서 각 구성 물질의 고유 특성으로 인해 발생하는 회복시간 지연, 적외선 영역에서 낮은 광응답도(responsivity)를 해소하는 것을 목적으로 한다.
- [0021] 본 발명은 높은 해리상수로 인해 발생한 납 이온에 의해 유독성이 크지만 높은 이동도 및 흡광 계수의 장점으로 근적외선(near infrared ray, NIR)을 감지하는데 그동안 주로 사용되어 온 물질인 납을 대체하여 독성이 낮은 물질의 양자점 물질인 비화 인듐(InAs) 양자점을 사용함으로써 친환경적이고 인체 친화적인 하이브리드 포토트랜지스터를 제조하는 것을 목적으로 한다.
- [0022] 본 발명은 높은 캐리어 이동도와 낮은 오프 전류(off-current) 및 비활성화된 산소공공을 가지는 아연 산질화물(Zinc oxynitride, ZnON)을 사용하여 기존 산화물 기반 포토트랜지스터보다 개선된 회복시간, 적외선 영역에서 뛰어난 광응답도 및 검출도(detectivity)를 가지는 하이브리드 포토트랜지스터를 제조하는 것을 목적으로 한다.

[0023] 본 발명은 비화 인듐 양자점과 아연 산질화물과 적용하여 각 물질이 가지는 포토트랜지스터의 물질로서의 장점을 극대화하고 단점은 보완하여 기존의 적외선 영역에서 뛰어난 광응답도와 검출도를 동시에 제공하는 하이브리드 포토트랜지스터를 제조하는 것을 목적으로 한다.

과제의 해결 수단

[0024] 본 발명의 일실시예에 따른 하이브리드 포토트랜지스터는 게이트 전극, 게이트 절연층, 캐리어수송층, 소스 드레인 전극 및 적어도 하나의 광흡수층을 포함하고, 상기 캐리어수송층은 비정질 금속 산화물로 생성되며, 상기 적어도 하나의 광흡수층은 양자점 물질로 생성되고, 상기 캐리어수송층과 상기 적어도 하나의 광흡수층은 이중 접합 구조를 이루며, 상기 이중 접합 구조는 입사되는 광에 대하여 광 검출 특성을 증가시킬 수 있다.

[0025] 상기 적어도 하나의 광흡수층은 상기 양자점 물질이 리간드 치환된 물질로 형성되고, 상기 리간드 치환된 물질은 칼코게나이드 이온, 할라이드 이온, 3-Mercaptopropionic acid(MPA), 1,2-ethanedithiol(EDT), 2-Mercaptoethanol(ME) 중 적어도 하나를 포함할 수 있다.

[0026] 상기 적어도 하나의 광흡수층은 제1 광흡수층과 제2 광흡수층 중 적어도 하나를 포함하고, 상기 제1 광흡수층은 상기 양자점 물질인 InAs에 제1 리간드 물질인 ME가 치환된 InAs-ME로 형성되고, 상기 제2 광흡수층은 상기 양자점 물질인 InAs에 제2 리간드 물질인 InCl_3 가 치환된 InAs- InCl_3 로 형성될 수 있다.

[0027] 상기 적어도 하나의 광흡수층은 상기 제1 광흡수층 상에 상기 제2 광흡수층이 형성되어 상기 제1 리간드 물질과 상기 제2 리간드 물질에 기반하여 구배 밴드 구조(Gradient bandgap structure)를 형성할 수 있다.

[0028] 상기 적어도 하나의 광흡수층은 상기 제1 광흡수층으로 형성되는 경우와 상기 제1 광흡수층 상에 상기 제2 광흡수층이 추가적으로 형성되는 경우가 광여기 캐리어(photo-excited carrier) 양이 동일하도록 두께가 동일하게 형성될 수 있다.

[0029] 상기 적어도 하나의 광흡수층에서 상기 입사되는 광에 의하여 전자 정공 쌍을 형성하고, 상기 형성된 전자 정공 쌍은 상기 게이트 전극을 통해 인가된 전압과 내부 전위(built-in potential)에 의해 분리되어 상기 캐리어수송층으로 이동하고, 상기 소스 드레인 전극으로 이동하여 순환됨에 따라 상기 입사될 수 있다.

[0030] 상기 캐리어수송층은 n형 반도체 특성을 갖고, 캐리어 이동도를 증가시키며, 오프 전류(off-current)를 감소시키고, 비활성화된 산소 공공(oxygen vacancy, V_O)을 가지는 비정질 금속 산화물로 형성되고, 상기 비정질 금속 산화물은 ZnON을 포함할 수 있다.

[0031] 본 발명의 일실시예에 따르면 하이브리드 포토트랜지스터는 패시베이션층을 더 포함하고, 상기 게이트 전극 상에 상기 게이트 절연층이 형성되며, 상기 게이트 절연층 상에 캐리어수송층이 형성되고, 상기 캐리어수송층 상에 상기 소스 드레인 전극이 형성되며, 상기 캐리어수송층 상에 상기 적어도 하나의 광흡수층이 형성되고, 상기 게이트 절연층, 상기 소스 드레인 전극 및 상기 적어도 하나의 광흡수층 상에 상기 패시베이션층이 형성될 수 있다.

[0032] 상기 패시베이션층은 O, S, F, Cl, Br, I, 3-Mercaptopropionic acid(MPA), 1,2-ethanedithiol(EDT), 2-Mercaptoethanol(ME) 중 적어도 하나로 형성될 수 있다.

[0033] 상기 캐리어수송층의 두께는 10nm 내지 50nm로 형성되고, 상기 적어도 하나의 광흡수층은 10nm 내지 20nm로 형성될 수 있다.

[0034] 상기 소스 드레인 전극은 Ti, Al, Mo, ITO, Au, Cr, Zn, Sn, Ag, Cu 및 W 중 어느 하나의 금속 및 전도성 산화물 또는 혼합물로 형성될 수 있다.

[0035] 본 발명의 일실시예에 따르면 하이브리드 포토트랜지스터의 제조 방법은 게이트 전극을 형성하는 단계, 상기 게이트 전극 상에 게이트 절연층을 형성하는 단계, 상기 게이트 절연층 상에 캐리어수송층을 형성하는 단계, 상기 캐리어수송층 상에 소스 드레인 전극을 형성하는 단계, 상기 캐리어수송층 상에 적어도 하나의 광흡수층을 형성하는 단계를 포함하고, 상기 캐리어수송층은 비정질 금속 산화물로 생성되며, 상기 적어도 하나의 광흡수층은 양자점 물질로 생성되고, 상기 캐리어수송층과 상기 적어도 하나의 광흡수층은 이중 접합 구조를 이루며, 상기 이중 접합 구조는 입사되는 광에 대하여 광 검출 특성을 증가시킬 수 있다.

[0036] 상기 적어도 하나의 광흡수층은 상기 양자점 물질이 리간드 치환된 물질로 형성되고, 상기 리간드 치환된 물질은 칼코게나이드 이온, 할라이드 이온, 3-Mercaptopropionic acid(MPA), 1,2-ethanedithiol(EDT), 2-

Mercaptoethanol(ME) 중 적어도 하나를 포함할 수 있다.

- [0037] 상기 캐리어수송층 상에 적어도 하나의 광흡수층을 형성하는 단계는 상기 적어도 하나의 광흡수층 중 제1 광흡수층을 형성하는 단계를 포함하고, 상기 적어도 하나의 광흡수층 중 제2 광흡수층을 형성하는 단계를 더 포함하며, 상기 제1 광흡수층은 상기 양자점 물질인 InAs에 제1 리간드 물질인 ME가 치환된 InAs-ME로 형성되고, 상기 제2 광흡수층은 상기 양자점 물질인 InAs에 제2 리간드 물질인 InCl₃가 치환된 InAs-InCl₃로 형성될 수 있다.
- [0038] 상기 적어도 하나의 광흡수층은 상기 제1 광흡수층 상에 상기 제2 광흡수층이 형성되어 상기 제1 리간드 물질과 상기 제2 리간드 물질에 기반하여 구배 밴드 구조(Gradient bandgap structure)를 형성할 수 있다.
- [0039] 상기 게이트 절연층 상에 캐리어수송층을 형성하는 단계는, n형 반도체 특성을 갖고, 캐리어 이동도를 증가시키며, 오프 전류(off-current)를 감소시키고, 비활성화된 산소 공공(oxygen vacancy, V₀)을 가지는 ZnON을 포함하는 비정질 금속 산화물로 상기 캐리어수송층을 형성하는 단계를 포함할 수 있다.
- [0040] 본 발명의 일실시예에 따르면 하이브리드 포토트랜지스터의 제조 방법은 O, S, F, Cl, Br, I, 3-Mercaptopropionic acid(MPA), 1,2-ethanedithiol(EDT), 2-Mercaptoethanol(ME) 중 적어도 하나로 상기 게이트 절연층, 상기 소스 드레인 전극 및 상기 적어도 하나의 광흡수층 상에 패시베이션층을 형성하는 단계를 더 포함할 수 있다.
- [0041] 상기 캐리어수송층의 두께는 10nm 내지 50nm로 형성되고, 상기 적어도 하나의 광흡수층은 10nm 내지 20nm로 형성될 수 있다.

발명의 효과

- [0042] 본 발명은 흡광 특성이 우수하고 독성이 적은 물질과 전기적 특성이 우수한 물질의 이중 접합을 박막 트랜지스터 구조에 적용하여 광 검출 특성을 높인 하이브리드 포토트랜지스터를 제조할 수 있다.
- [0043] 본 발명은 양자점 물질과 비정질 금속 산화물 반도체 기반의 하이브리드 포토트랜지스터에서 각 구성 물질의 고유 특성으로 인해 발생하는 회복시간 지연, 적외선 영역에서 낮은 광응답도(responsivity)를 해소할 수 있다.
- [0044] 본 발명은 높은 해리상수로 인해 발생한 납 이온에 의해 유독성이 크지만 높은 이동도 및 흡광 계수의 장점으로 근적외선(near infrared ray, NIR)을 감지하는데 그동안 주로 사용되어 온 물질인 납을 대체하여 독성이 낮은 물질의 양자점 물질인 비화 인듐(InAs) 양자점을 사용함으로써 친환경적이고 인체 친화적인 하이브리드 포토트랜지스터를 제조할 수 있다.
- [0045] 본 발명은 높은 캐리어 이동도와 낮은 오프 전류(off-current) 및 비활성화된 산소공공을 가지는 아연 산질화물(Zinc oxynitride, ZnON)을 사용하여 기존 산화물 기반 포토트랜지스터보다 개선된 회복시간, 적외선 영역에서 뛰어난 광응답도 및 검출도(detectivity)를 가지는 하이브리드 포토트랜지스터를 제조할 수 있다.
- [0046] 본 발명은 비화 인듐 양자점과 아연 산질화물과 적용하여 각 물질이 가지는 포토트랜지스터의 물질로서의 장점을 극대화하고 단점은 보완하여 기존의 적외선 영역에서 뛰어난 광응답도와 검출도를 동시에 제공하는 하이브리드 포토트랜지스터를 제조할 수 있다.

도면의 간단한 설명

- [0047] 도 1a 및 도 1b는 본 발명의 일실시예에 따른 하이브리드 포토트랜지스터를 설명하는 도면이다.
- 도 2 내지 도 4b는 본 발명의 일실시예에 따른 하이브리드 포토트랜지스터의 제조 방법을 설명하는 도면이다.
- 도 5는 본 발명의 일실시예에 따른 하이브리드 포토트랜지스터의 전류값을 설명하는 도면이다.
- 도 6은 본 발명의 일실시예에 따른 하이브리드 포토트랜지스터의 문턱 전압 변화를 설명하는 도면이다.
- 도 7a 및 도 7b는 본 발명의 일실시예에 따른 하이브리드 포토트랜지스터의 각 층 별 밴드갭 구조 및 일함수(work function)를 설명하는 도면이다.
- 도 8 내지 도 10b는 본 발명의 일실시예에 따른 하이브리드 포토트랜지스터의 광검출 특성을 설명하는 도면이다.
- 도 11 및 도 12는 본 발명의 일실시예에 따른 하이브리드 포토트랜지스터의 응답 시간을 설명하는 도면이다.

도 13은 본 발명의 일실시예에 따른 하이브리드 포토트랜지스터의 광검출 특성의 정규화 결과를 설명하는 도면이다.

도 14a 내지 도 14c는 본 발명의 일실시예에 따른 하이브리드 포토트랜지스터의 대기 중에 방치한 후의 전달 특성 및 응답도를 비교 설명하는 도면이다.

도 15a 및 도 15b는 본 발명의 일실시예에 따른 하이브리드 포토트랜지스터의 전자 현미경 이미지를 설명하는 도면이다.

도 16은 본 발명의 일실시예에 따른 하이브리드 포토트랜지스터를 형성하는 XPS를 설명하는 도면이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

- [0048] 이하, 본 문서의 다양한 실시 예들이 첨부된 도면을 참조하여 기재된다.
- [0049] 실시 예 및 이에 사용된 용어들은 본 문서에 기재된 기술을 특정한 실시 형태에 대해 한정하려는 것이 아니며, 해당 실시 예의 다양한 변경, 균등물, 및/또는 대체물을 포함하는 것으로 이해되어야 한다.
- [0050] 하기에서 다양한 실시 예들을 설명에 있어 관련된 공지 기능 또는 구성에 대한 구체적인 설명이 발명의 요지를 불필요하게 흐릴 수 있다고 판단되는 경우에는 그 상세한 설명을 생략할 것이다.
- [0051] 그리고 후술되는 용어들은 다양한 실시예들에서의 기능을 고려하여 정의된 용어들로서 이는 사용자, 운용자의 의도 또는 관례 등에 따라 달라질 수 있다. 그러므로 그 정의는 본 명세서 전반에 걸친 내용을 토대로 내려져야 할 것이다.
- [0052] 도면의 설명과 관련하여, 유사한 구성요소에 대해서는 유사한 참조 부호가 사용될 수 있다.
- [0053] 단수의 표현은 문맥상 명백하게 다르게 뜻하지 않는 한, 복수의 표현을 포함할 수 있다.
- [0054] 본 문서에서, "A 또는 B" 또는 "A 및/또는 B 중 적어도 하나" 등의 표현은 함께 나열된 항목들의 모든 가능한 조합을 포함할 수 있다.
- [0055] "제1," "제2," "첫째," 또는 "둘째," 등의 표현들은 해당 구성요소들을, 순서 또는 중요도에 상관없이 수식할 수 있고, 한 구성요소를 다른 구성요소와 구분하기 위해 사용될 뿐 해당 구성요소들을 한정하지 않는다.
- [0056] 어떤(예: 제1) 구성요소가 다른(예: 제2) 구성요소에 "(기능적으로 또는 통신적으로) 연결되어" 있다거나 "접속되어" 있다고 언급된 때에는, 상기 어떤 구성요소가 상기 다른 구성요소에 직접적으로 연결되거나, 다른 구성요소(예: 제3 구성요소)를 통하여 연결될 수 있다.
- [0057] 본 명세서에서, "~하도록 구성된(또는 설정된)(configured to)"은 상황에 따라, 예를 들면, 하드웨어적 또는 소프트웨어적으로 "~에 적합한," "~하는 능력을 가지는," "~하도록 변경된," "~하도록 만들어진," "~를 할 수 있는," 또는 "~하도록 설계된"과 상호 호환적으로(interchangeably) 사용될 수 있다.
- [0058] 어떤 상황에서는, "~하도록 구성된 장치"라는 표현은, 그 장치가 다른 장치 또는 부품들과 함께 "~할 수 있는" 것을 의미할 수 있다.
- [0059] 예를 들면, 문구 "A, B, 및 C를 수행하도록 구성된(또는 설정된) 프로세서"는 해당 동작을 수행하기 위한 전용 프로세서(예: 임베디드 프로세서), 또는 메모리 장치에 저장된 하나 이상의 소프트웨어 프로그램들을 실행함으로써, 해당 동작들을 수행할 수 있는 범용 프로세서(예: CPU 또는 application processor)를 의미할 수 있다.
- [0060] 또한, '또는'이라는 용어는 배타적 논리합 'exclusive or' 이기보다는 포함적인 논리합 'inclusive or'를 의미한다.
- [0061] 즉, 달리 언급되지 않는 한 또는 문맥으로부터 명확하지 않는 한, 'x가 a 또는 b를 이용한다'라는 표현은 포함적인 자연 순열들(natural inclusive permutations) 중 어느 하나를 의미한다.
- [0062] 이하 사용되는 '..부', '..기' 등의 용어는 적어도 하나의 기능이나 동작을 처리하는 단위를 의미하며, 이는 하드웨어나 소프트웨어, 또는, 하드웨어 및 소프트웨어의 결합으로 구현될 수 있다.
- [0064] 도 1a 및 도 1b는 본 발명의 일실시예에 따른 하이브리드 포토트랜지스터를 설명하는 도면이다.

- [0065] 도 1a는 본 발명의 일실시예에 따라 적어도 하나의 광흡수층 중 제1 광흡수층을 포함하는 하이브리드 포토트랜지스터의 구조를 예시한다.
- [0066] 도 1a를 참고하면, 본 발명의 일실시예에 따른 하이브리드 포토트랜지스터(100)는 게이트 전극(101), 게이트 절연층(102), 캐리어수송층(103), 소스 드레인 전극(104) 및 제1 광흡수층(105)을 포함한다.
- [0067] 예를 들어, 소스 드레인 전극(104)은 소스 전극과 드레인 전극을 지칭한다.
- [0068] 본 발명의 일실시예에 따른 하이브리드 포토트랜지스터(100)는 화학적으로 안정하여 독성이 낮고 흡광 특성이 우수한 양자점 물질층 광흡수층으로 형성하고, 비정질 산화물층을 캐리어수송층으로 형성하여 양자점 물질과 비정질 산화물의 이중 접합 구조에 기반하여 높은 광검출 특성을 가질 수 있다.
- [0069] 본 발명의 일실시예에 따르면 게이트 전극(101)은 p-Si로 형성될 수 있고, 게이트 절연층(102)은 SiO₂로 형성될 수 있다.
- [0070] 게이트 전극(101)과 게이트 절연층(102)은 p⁺⁺-Si/SiO₂ 기판일 수 있다.
- [0071] 게이트 전극(101)이 하부에 위치하는 하부 게이트 구조를 예시하나, 게이트 전극의 위치는 상부에 위치하는 상부 게이트 구조도 가능하다.
- [0072] 본 발명의 일실시예에 따르면 하이브리드 포토트랜지스터(100)는 게이트 전극(101) 상에 게이트 절연층(102)이 형성되고, 게이트 절연층(102) 상에 캐리어수송층(103)이 형성되며, 캐리어수송층(103) 상에 소스 드레인 전극(104)이 형성되고, 캐리어수송층(103) 및 소스 드레인 전극(104) 상에 제1 광흡수층(105)이 형성되는 구조를 가진다.
- [0073] 도 1b는 본 발명의 일실시예에 따라 적어도 하나의 광흡수층 중 제1 및 제2 광흡수층을 포함하는 하이브리드 포토트랜지스터의 구조를 예시한다.
- [0074] 도 1b를 참고하면, 본 발명의 일실시예에 따른 하이브리드 포토트랜지스터(110)는 게이트 전극(111), 게이트 절연층(112), 캐리어수송층(113), 소스 드레인 전극(114), 제1 광흡수층(115) 및 제2 광흡수층(116)을 포함한다.
- [0075] 예를 들어, 하이브리드 포토트랜지스터(110)는 추가적인 광흡수층을 포함하여 다수의 광흡수층이 캐리어수송층 상에 형성되는 접합 구조를 가질 수 있다.
- [0076] 게이트 전극(101)과 게이트 전극(111)은 형성 물질이 동일하고, 게이트 절연층(102)과 게이트 절연층(112)도 동일하며, 캐리어수송층(103)과 캐리어수송층(113)도 동일하고, 소스 드레인 전극(104)과 소스 드레인 전극(114)도 동일하며, 제1 광흡수층(105)과 제1 광흡수층(115)도 동일하다.
- [0077] 즉, 하이브리드 포토트랜지스터(100)와 하이브리드 포토트랜지스터(110)는 제2 광흡수층(116)의 차이가 존재할 뿐 나머지 구성은 동일하다.
- [0078] 따라서, 하이브리드 포토트랜지스터(100)와 하이브리드 포토트랜지스터(110)에 대하여 공통으로 포함하는 구성에 대한 설명은 동일하게 적용가능하고, 하이브리드 포토트랜지스터(100)는 이후 제1 실시예로 설명될 수 있고, 하이브리드 포토트랜지스터(110)는 이후 제2 실시예로 설명될 수 있다.
- [0079] 캐리어수송층(113)은 n형 반도체 특성을 갖고, 캐리어 이동도를 증가시키며, 오프 전류(off-current)를 감소시키고, 비활성화된 산소 공공(oxygen vacancy, V₀)을 가지는 비정질 금속 산화물로 형성되고, 비정질 금속 산화물은 ZnON을 포함한다.
- [0080] 하이브리드 포토트랜지스터(100)와 하이브리드 포토트랜지스터(110)를 포괄하기 위해서 적어도 하나의 광흡수층을 포함하는 하이브리드 포토트랜지스터로 지칭할 수 있다.
- [0081] 적어도 하나의 광흡수층은 양자점 물질이 리간드 치환된 물질로 형성되고, 리간드 치환된 물질은 S, Se 등을 포함하는 칼코게나이드 이온, F, Cl, Br, I 등을 포함하는 할라이드 이온, 3-Mercaptopropionic acid(MPA), 1,2-ethanedithiol(EDT), 2-Mercaptoethanol(ME) 중 적어도 하나를 포함할 수 있다.
- [0082] 적어도 하나의 광흡수층은 제1 광흡수층(115)과 제2 광흡수층(116) 중 적어도 하나를 포함한다.
- [0083] 하이브리드 포토트랜지스터(100)는 제1 광흡수층(105)을 포함하고, 하이브리드 포토트랜지스터(110)는 제1 광흡수층(115)과 제2 광흡수층(116)을 포함한다.

- [0084] 제1 광흡수층(115)은 양자점 물질인 InAs에 제1 리간드 물질인 ME가 치환된 InAs-ME로 형성되고,
- [0085] 제2 광흡수층(116)은 양자점 물질인 InAs에 제2 리간드 물질인 InCl₃가 치환된 InAs-InCl₃로 형성된다.
- [0086] 제1 리간드 물질과 제2 리간드 물질은 양자점 물질에 치환되는 리간드 물질에 포함된다.
- [0087] 적어도 하나의 광흡수층은 제1 광흡수층(115) 상에 제2 광흡수층(116)이 형성되어 제1 리간드 물질과 제2 리간드 물질에 기반하여 구배 밴드 구조(Gradient bandgap structure)를 형성할 수 있다.
- [0088] 적어도 하나의 광흡수층은 제1 광흡수층(115)으로 형성되는 경우와 제1 광흡수층(115) 상에 제2 광흡수층(116)이 추가적으로 형성되는 경우가 광여기 캐리어(photo-excited carrier) 양이 동일하도록 두께가 동일하게 형성될 수 있다.
- [0089] 즉, 제1 광흡수층(105)의 두께와 제1 광흡수층(115)과 제2 광흡수층(116)의 결합 두께가 동일할 수 있다.
- [0090] 본 발명의 일실시예에 따르면 하이브리드 포토트랜지스터(110)는 적어도 하나의 광흡수층에서 입사되는 광에 의하여 전자 정공 쌍을 형성하고, 형성된 전자 정공 쌍은 게이트 전극(111)을 통해 인가된 전압과 내부 전위(built-in potential)에 의해 분리되어 캐리어수송층(113)으로 이동하고, 소스 드레인 전극(114)으로 이동하여 순환됨에 따라 입사되는 광을 검출할 수 있다.
- [0091] 본 발명의 일실시예에 따르면 하이브리드 포토트랜지스터(110)는 패시베이션층을 더 포함할 수 있다.
- [0092] 일례로, 패시베이션층은 O, S, F, Cl, Br, I, 3-Mercaptopropionic acid(MPA), 1,2-ethanedithiol(EDT), 2-Mercaptoethanol(ME) 중 적어도 하나로 형성될 수 있다.
- [0093] 캐리어수송층의 두께는 10nm 내지 50nm로 형성되고, 적어도 하나의 광흡수층은 10nm 내지 20nm로 형성될 수 있다.
- [0094] 소스 드레인 전극(114)은 Ti, Al, Mo, ITO, Au, Cr, Zn, Sn, Ag, Cu 및 W 중 어느 하나의 금속 및 전도성 산화물 또는 혼합물로 형성될 수 있다.
- [0095] 따라서, 본 발명은 흡광 특성이 우수하고 독성이 적은 물질과 전기적 특성이 우수한 물질의 이중 접합을 박막 트랜지스터 구조에 적용하여 광 검출 특성을 높인 하이브리드 포토트랜지스터를 제조할 수 있다.
- [0097] 도 2는 본 발명의 일실시예에 따른 하이브리드 포토트랜지스터의 제조 방법을 설명하는 도면이다.
- [0098] 도 2는 본 발명의 일실시예에 따른 본 발명의 일실시예에 따른 하이브리드 포토트랜지스터의 제조 방법이 포토트랜지스터를 제작하는 절차를 예시한다.
- [0099] 도 2를 참고하면, 단계(S201)에서 본 발명의 일실시예에 따른 하이브리드 포토트랜지스터의 제조 방법은 게이트 전극 및 게이트 절연층을 포함하는 기판을 준비한다.
- [0100] 다시 말해, 본 발명의 일실시예에 따른 하이브리드 포토트랜지스터의 제조 방법은 게이트 전극 및 게이트 절연층을 형성한다.
- [0101] 일례로, 하이브리드 포토트랜지스터는 SiO₂(300nm)/p⁺⁺-Si 기판 상에 제작될 수 있고, p⁺⁺-Si 및 SiO₂는 각각 소자의 게이트와 게이트 절연체로 사용될 수 있다.
- [0102] 기판 세척을 위하여, p⁺⁺-Si/SiO₂ 기판을 초음파 발생기 안에 넣고 아세톤, 이소프로필 알코올(IPA), 탈이온수(Deionized water)의 순서대로 세척한 후, N₂를 흘려주면서 건조할 수 있다.
- [0103] 단계(S202)에서 본 발명의 일실시예에 따른 하이브리드 포토트랜지스터의 제조 방법은 캐리어수송층을 증착 형성한다.
- [0104] 일례로, 캐리어수송층은 포토리소그래피 또는 웨도우 마스크를 사용하여 패터닝될 수 있고, Zn 타겟을 이용하여 SiO₂/p⁺⁺-Si 기판 위에 반응성 스퍼터링법(Reactive sputtering)을 이용하여 증착 형성될 수 있다.
- [0105] 스퍼터링 시에 흘려주는 산소/질소의 비율은 2% 내지 5% 내에서 결정될 수 있으며, 1~10mTorr의 작업 압력

(Working pressure)에서 공정이 진행되는 것이 바람직하고, 이때, 캐리어수송층의 두께는 10 nm 내지 50 nm 사이에서 결정될 수 있다.

- [0106] 단계(S203)에서 본 발명의 일실시예에 따른 하이브리드 포토트랜지스터의 제조 방법은 소스 드레인 전극을 증착 형성한다.
- [0107] 포토리소그래피 또는 웨도우 마스크를 사용하여 패터닝된 소스 드레인 전극이 증착될 수 있다.
- [0108] 소스 드레인 전극의 물질로는 Ti, Al, Mo, ITO, Au, Cr, Zn, Sn, Ag, Cu, W 등 금속 및 전도성 산화물이 사용될 수 있으며, 위에 나열된 물질들을 혼합하거나 여러 층으로 적층하여 사용할 수 있다.
- [0109] 단계(S204)에서 본 발명의 일실시예에 따른 하이브리드 포토트랜지스터의 제조 방법은 후열처리 공정 (Post-annealing process)을 진행한다.
- [0110] 이때 열처리 온도는 150 °C 내지 300 °C 내에서 결정될 수 있으며, 열처리 환경은 순수 산소 혹은 산소가 포함된 혼합 가스 하에서 1시간 정도 진행되는 것이 바람직하다.
- [0111] 단계(S205)에서 본 발명의 일실시예에 따른 하이브리드 포토트랜지스터의 제조 방법은 적어도 하나의 광흡수층을 증착 형성한다.
- [0112] 보다 구체적으로, 본 발명의 일실시예에 따른 하이브리드 포토트랜지스터의 제조 방법은 양자점 물질을 증착하고, 스핀 코팅 및 리간드 치환을 통해서 적어도 하나의 광흡수층을 증착 형성하고, 광흡수층의 형성은 도 3을 이용하여 보충 설명한다.
- [0113] 하이브리드 포토트랜지스터가 제1 광흡수층을 포함하는 본 발명의 제1 실시예에 따른 제조 방법은 아래와 같이 정리할 수 있다.
- [0114] p^{++} -Si/SiO₂ 기판이 세척되고 준비하고, 포토리소그래피를 통해 패터닝된 ZnON 캐리어수송층은 Zn 타겟(99.99%)을 이용하여 p^{++} -Si/SiO₂ 기판 위에 반응성 스퍼터링법으로 증착된다.
- [0115] 스퍼터링 시에 흘려주는 아르곤은 5 sccm, 산소는 1 sccm, 질소는 50 sccm이고, 5 mTorr의 작업 압력 하에서 공정이 진행되었으며, 이때 ZnON 층의 두께는 30 nm로 하였다.
- [0116] 그 후, 포토리소그래피를 사용하여 패터닝된 소스/드레인 전극을 증착한다. 이때 전극은 Ti/Al을 사용하였으며, Ti은 5 nm, Al은 100 nm의 두께로 증착하였다.
- [0117] 이후, 후열처리 공정 (Post-annealing process)을 진행하였으며, 이때 열처리 온도는 250 °C, 공기 환경 하에서 1시간 동안 진행되었다.
- [0118] 그 후, 상기 서술된 시편 상에 InAs QD 박막을 스핀 코팅으로 적층하였으며, 도 3과 같이 리간드 ME를 사용하여 리간드를 치환하였다.
- [0119] 리간드 치환 방법으로는 고체 상 리간드 치환 방법을 사용하였고, InAs QD 층의 총 두께는 약 20 nm로 형성될 수 있다.
- [0120] 하이브리드 포토트랜지스터가 제1 및 제2 광흡수층을 포함하는 본 발명의 제2 실시예에 따른 제조 방법은 제2 광흡수층의 추가 형성 과정을 아래와 같이 정리할 수 있다.
- [0121] 제1 실시예에 서술된 후열처리 공정까지 동일하게 진행한 후, QD 구매 밴드 구조의 형성을 위해 InAs-InCl₃ 층이 InAs-ME 층 위에 적층되었다.
- [0122] 즉, 1차로 시편 상에 InAs QD 박막을 스핀 코팅으로 적층하였으며, ME를 사용하여 리간드를 치환하였다.
- [0123] 이어서 2차로 InAs QD 박막을 스핀 코팅으로 적층하였고, InCl₃ 용액을 사용하여 리간드를 치환하였다. 이때도 마찬가지로 고체 상 리간드 치환 방법을 사용한다. 제1 실시예와 마찬가지로 InAs QD 층의 총 두께는 약 20 nm로 형성할 수 있다.
- [0125] 도 3은 본 발명의 일실시예에 따른 하이브리드 포토트랜지스터의 제조 방법을 설명하는 도면이다.

- [0126] 도 3은 본 발명의 일실시예에 따른 하이브리드 포토트랜지스터의 제조 방법이 적어도 하나의 광흡수층을 형성하는 절차와 관련하여 리간드 치환 과정을 예시한다.
- [0127] 도 3을 참고하면, 단계(S301)에서 본 발명의 일실시예에 따른 하이브리드 포토트랜지스터의 제조 방법은 제1 광흡수층을 형성하기 위한 양자점 물질을 적층한다.
- [0128] 단계(S302)에서 본 발명의 일실시예에 따른 하이브리드 포토트랜지스터의 제조 방법은 적층된 양자점 물질에 리간드 치환한다.
- [0129] 이때 리간드는 고체 상 리간드 치환 방법 (Solid-phase ligand exchange)과 액체 상 리간드 치환 방법 (Liquid-phase ligand exchange) 모두 쓸 수 있다.
- [0130] 단계(S302)까지 진행하게 되는 경우에는 광흡수층과 관련하여 제1 광흡수층만을 포함하는 하이브리드 포토트랜지스터가 되고, 단계(S303) 및 단계(S304)를 추가적으로 진행하면 제1 및 제2 광흡수층을 포함하는 하이브리드 포토트랜지스터가 된다.
- [0131] 단계(S303)에서 본 발명의 일실시예에 따른 하이브리드 포토트랜지스터의 제조 방법은 제1 광흡수층 상에 제2 광흡수층을 형성하기 위한 양자점 물질을 적층한다.
- [0132] 단계(S304)에서 본 발명의 일실시예에 따른 하이브리드 포토트랜지스터의 제조 방법은 제2 광흡수층을 형성하기 위해 적층된 양자점 물질에 리간드 치환한다.
- [0134] 도 4a 및 도 4b는 본 발명의 일실시예에 따른 하이브리드 포토트랜지스터의 제조 방법을 설명하는 도면이다.
- [0135] 도 4a는 본 발명의 제1 실시예에 따른 하이브리드 포토트랜지스터의 제조 방법과 관련된 3D 구조도를 예시한다.
- [0136] 도 4b는 본 발명의 제2 실시예에 따른 하이브리드 포토트랜지스터의 제조 방법과 관련된 3D 구조도를 예시한다.
- [0137] 도 4a를 참고하면, 제1 실시예에 따른 하이브리드 포토트랜지스터의 제조 방법은 하이브리드 포토트랜지스터(400)를 형성하고, 하이브리드 포토트랜지스터(400)는 게이트 전극(401), 게이트 절연층(402), 캐리어수송층(403), 소스 드레인 전극(404) 및 제1 광흡수층(405)을 형성한다.
- [0138] 도 4b를 참고하면, 제2 실시예에 따른 하이브리드 포토트랜지스터의 제조 방법은 하이브리드 포토트랜지스터(410)를 형성하고, 하이브리드 포토트랜지스터(410)는 게이트 전극(411), 게이트 절연층(412), 캐리어수송층(413), 소스 드레인 전극(414), 제1 광흡수층(415) 및 제2 광흡수층(416)을 형성한다.
- [0139] 따라서, 본 발명은 높은 해리상수로 인해 발생한 납 이온에 의해 유독성이 크지만 높은 이동도 및 흡광 계수의 장점으로 근적외선(near infrared ray, NIR)을 감지하는데 그동안 주로 사용되어 온 물질인 납을 대체하여 독성이 낮은 물질의 양자점 물질인 비화 인듐(InAs) 양자점을 사용함으로써 친환경적이고 인체 친화적인 하이브리드 포토트랜지스터를 제조할 수 있다.
- [0141] 도 5는 본 발명의 일실시예에 따른 하이브리드 포토트랜지스터의 전류값을 설명하는 도면이다.
- [0142] 도 5는 본 발명의 일실시예에 따른 하이브리드 포토트랜지스터를 구성하는 광흡수층의 구성 변화에 따른 전류값 측정 결과를 예시한다.
- [0143] 도 5를 참고하면, 그래프(500)는 캐리어수송층 상에 광흡수층이 존재하지 않는 경우에 해당하는 제1 비교예를 나타낼 수 있고, 그래프(510)는 캐리어수송층 상에 제1 광흡수층이 존재하는 경우에 해당하는 제1 실시예를 나타낼 수 있으며, 그래프(520)는 캐리어수송층 상에 제1 및 제2 광흡수층이 존재하는 경우에 해당하는 제2 실시예를 나타낼 수 있다.
- [0144] 그래프(500) 내지 그래프(520)는 포토트랜지스터의 게이트 전압 및 빛의 세기에 따른 전류값을 나타낸다.
- [0145] 그래프(500) 내지 그래프(520)는 905nm 파장의 빛 세기에 따라 전류 값이 변화하는 것을 확인시켜준다.
- [0146] 그래프(500)와 그래프(510) 및 그래프(520)를 비교하였을 때, 광흡수층이 존재하지 않는 경우보다 광흡수층이 존재하는 경우에서 전류 값이 훨씬 크게 변화하는 것을 확인할 수 있다.

- [0148] 도 6은 본 발명의 일실시예에 따른 하이브리드 포토트랜지스터의 문턱 전압 변화를 설명하는 도면이다.
- [0149] 도 6은 본 발명의 일실시예에 따른 하이브리드 포토트랜지스터와 관련하여 입사광 세기에 따른 문턱 전압값 변화를 나타낸다.
- [0150] 도 6을 참고하면, 그래프(600)는 도 5에서의 제1 비교예의 문턱값 변화(601)를 나타내고, 도 5에서 제1 실시예의 문턱값 변화(602)를 나타내며, 도 5에서 제2 실시예의 문턱값 변화(603)를 나타낼 수 있다.
- [0151] 구매 밴드 구조를 포함하는 제2 실시예의 문턱값 변화(603)가 문턱값 변화(601)와 문턱값 변화(602)에 대비하여 모든 빛의 세기에서 큰 것을 확인할 수 있다.
- [0152] 그래프(600)는 문턱값 변화(601)에 대비하여 문턱값 변화(602) 및 문턱값 변화(603)가 큰 것을 확인시켜준다.
- [0154] 도 7a 및 도 7b는 본 발명의 일실시예에 따른 하이브리드 포토트랜지스터의 각 층 별 밴드갭 구조 및 일함수(work function)를 설명하는 도면이다.
- [0155] 도 7a는 본 발명의 제1 실시예에 따른 하이브리드 포토트랜지스터의 게이트 전압 없는 여기자(exciton)의 확산과 제2 실시예에 따른 하이브리드 포토트랜지스터의 게이트 전압 없는 여기자(exciton)의 확산을 예시한다.
- [0156] 도 7a를 참고하면, 제1 실시예(700)는 기판(p-Si) 상에 게이트 전극(SiO_2), 캐리어수송층(ZnON) 및 제1 광흡수층(InAs-ME)가 순차적으로 형성된 구조이다.
- [0157] 제2 실시예(701)는 기판(p-Si) 상에 게이트 전극(SiO_2), 캐리어수송층(ZnON) 및 제1 광흡수층(InAs-ME) 그리고 제2 광흡수층(InAs-InCl₃)이 순차적으로 형성된 구조이다.
- [0158] 제2 실시예(701)는 제1 광흡수층(InAs-ME)과 제2 광흡수층(InAs-InCl₃) 간에 구매 밴드 구조가 적용되어 제1 실시예에 대비하여 근적외선에서 상대적으로 우수한 광흡수 특성과 전기적 특성을 가지고, 높은 이동도와 낮은 지속성 광전류(persistent photoconductivity, PPC) 효과를 가진다.
- [0159] 제2 실시예(701)는 전자(electron)가 제1 광흡수층(InAs-ME)으로 이동하고, 정공(hole)이 제2 광흡수층(InAs-InCl₃)으로 이동하는 것을 보여준다.
- [0160] 한편, 캐리어수송층(ZnON)으로는 정공이 이동하지 않는다.
- [0161] 구매 밴드 구조는 층 하나 하나가 계단 식으로 구성되어진 구조로서 도 7b를 이용하여 보충 설명한다.
- [0162] 도 7b를 참고하면, 본 발명의 제2 실시예(710)에 따른 에너지 밴드를 예시한다.
- [0163] 제2 실시예(710)는 기판(p-Si) 상에 게이트 전극(SiO_2), 캐리어수송층(ZnON) 및 제1 광흡수층(InAs-ME) 그리고 제2 광흡수층(InAs-InCl₃)이 순차적으로 형성된 구조이다.
- [0164] 제2 실시예(710)는 캐리어수송층(ZnON) 및 제1 광흡수층(InAs-ME) 그리고 제2 광흡수층(InAs-InCl₃)이 밴드 구배를 갖는 구매 밴드 구조(gradient bandgap structure)를 나타내는 것을 보여준다.
- [0165] 제1 광흡수층(InAs-ME) 및 제2 광흡수층(InAs-InCl₃)은 높은 전자 이동도와 낮은 유전율(permittivity)를 가지고 있어 광 감응 물질로 적용할 경우 뛰어난 성능을 보여준다.
- [0166] 특히, 구매 밴드 구조는 InAs QD층 내 전하 축적과 재결합을 감소시키기 위해서 적용되었으며, 제1 광흡수층과 제2 광흡수층의 광검출 성능을 향상시킨다.
- [0167] 더불어, Pb 기반 QD를 사용한 광검출기는 인체와 환경에 대한 높은 독성으로 인해 상용화하는 데 문제가 있었으나, 본 발명의 일실시예에 따른 하이브리드 포토트랜지스터는 독성이 낮은 InAs QD를 사용함으로써 이를 해결할 수 있다.
- [0168] 또한, 본 발명의 일실시예에 따른 하이브리드 포토트랜지스터는 높은 캐리어 이동도와 낮은 오프 전류(Off-current), 비활성화된 V_0 를 가지는 ZnON를 사용하여 기존 산화물 기반 포토트랜지스터보다 개선된 회복시간, 적외선 영역에서 뛰어난 광응답도 및 검출도(Detectivity)를 가진다.

- [0169] 본 발명을 통해 InAs QD와 ZnON를 적용하여 각 물질이 가지는 장점을 극대화하고 단점은 보완하여 기존의 적외선 영역에서 뛰어난 광응답도와 검출도를 동시에 얻을 수 있는 하이브리드 포토트랜지스터를 제조 및 공급할 수 있다.
- [0170] 따라서, 본 발명은 양자점 물질과 비정질 금속 산화물 반도체 기반의 하이브리드 포토트랜지스터에서 각 구성 물질의 고유 특성으로 인해 발생하는 회복시간 지연, 적외선 영역에서 낮은 광응답도(responsivity)를 해소할 수 있다.
- [0172] 도 8 내지 도 10b는 본 발명의 일실시예에 따른 하이브리드 포토트랜지스터의 광검출 특성을 설명하는 도면이다.
- [0173] 도 8은 본 발명의 제1 및 제2 실시예에 따른 각각의 하이브리드 포토트랜지스터의 특정 광출력밀도에서 게이트 전압에 따른 포토트랜지스터의 응답도, 검출도, 광민감도를 예시한다.
- [0174] 도 8을 참고하면, 그래프(800)는 제1 실시예(801) 및 제2 실시예(802)의 응답도를 나타내고, 그래프(810)는 제1 실시예(811) 및 제2 실시예(812)의 검출도를 나타내며, 그래프(820)는 제1 실시예(821) 및 제2 실시예(822)의 광민감도를 나타낸다.
- [0175] 제1 실시예는 캐리어수송층이 ZnON으로 형성되고, 제1 광흡수층이 InAs-ME로 형성된 경우에 해당하고, 제2 실시예는 캐리어수송층이 ZnON으로 형성되고, 제1 광흡수층이 InAs-ME로 형성되며, 제2 광흡수층이 InAs-InCl₃로 형성된 경우에 해당된다.
- [0176] 그래프(800)는 $2\mu\text{W}/\text{cm}^2$ 의 광출력 밀도에서 제1 실시예(801) 및 제2 실시예(802)의 응답도를 비교하였고, 모든 게이트 전압에서 제2 실시예(802)의 응답도가 제1 실시예(801)의 응답도를 크게 상회하는 것을 확인시켜준다.
- [0177] 그래프(810)는 $2\mu\text{W}/\text{cm}^2$ 의 광출력 밀도에서 제1 실시예(811) 및 제2 실시예(812)의 검출도를 비교하였고, 모든 게이트 전압에서 제2 실시예(812)의 검출도가 제1 실시예(811)의 검출도 보다 큰 값을 가지는 것을 확인시켜준다.
- [0178] 그래프(820)는 $2\mu\text{W}/\text{cm}^2$ 의 광출력 밀도에서 제1 실시예(821) 및 제2 실시예(822)의 광민감도를 비교하였고, 모든 게이트 전압에서 제2 실시예(822)의 최대 광민감도가 제1 실시예(821)의 최대 광민감도 보다 큰 값을 가지는 것을 확인시켜준다.
- [0179] 제2 실시예(822)의 광민감도가 제1 실시예(821)의 광민감도보다 더 큰 게이트 전압에서 광민감도가 감소하기 시작하는 것을 확인 시켜준다.
- [0180] 도 9는 제1 및 제2 실시예에 따른 각각의 하이브리드 포토트랜지스터의 특정 게이트 전압에 따른 포토트랜지스터의 응답도, 검출도, 광민감도 및 전류값을 예시한다.
- [0181] 도 9를 참고하면, 그래프(900)는 제1 실시예(901) 및 제2 실시예(902)의 응답도를 나타내고, 그래프(910)는 제1 실시예(911) 및 제2 실시예(912)의 검출도를 나타내며, 그래프(920)는 제1 실시예(921) 및 제2 실시예(922)의 광민감도를 나타내고, 그래프(930)는 제1 실시예(931) 및 제2 실시예(932)의 전류 값을 나타낸다.
- [0182] 제1 실시예는 캐리어수송층이 ZnON으로 형성되고, 제1 광흡수층이 InAs-ME로 형성된 경우에 해당하고, 제2 실시예는 캐리어수송층이 ZnON으로 형성되고, 제1 광흡수층이 InAs-ME로 형성되며, 제2 광흡수층이 InAs-InCl₃로 형성된 경우에 해당된다.
- [0183] 그래프(900)에서는 -7V의 게이트 전압에서 광출력 밀도에 따라 제1 실시예(901) 및 제2 실시예(902)의 응답도를 비교하였고, 모든 광출력 밀도에서 제2 실시예(902)의 응답도가 제1 실시예(901)의 응답도보다 큰 값을 가지며, 빛의 세기가 작을 때 더 큰 차이가 나는 것을 확인시켜준다.
- [0184] 그래프(910)에서는 -7 V의 게이트 전압에서 광출력 밀도에 따라 제1 실시예(911) 및 제2 실시예(912)의 검출도를 비교하였으며, 모든 광출력 밀도에서 제2 실시예(912)의 검출도가 제1 실시예(911)의 검출도를 크게 상회하는 것을 확인할 수 있다.
- [0185] 그래프(920)에서는 -7V의 게이트 전압에서 광출력 밀도에 따라 제1 실시예(921) 및 제2 실시예(922)의 광민감도

를 비교하였으며, 모든 광출력 밀도에서 제2 실시예(922)의 검출도가 제1 실시예(921)의 검출도를 크게 상회하는 것을 확인할 수 있다.

[0186] 그래프(930)에서는 -7 V의 게이트 전압에서 광출력 밀도에 따라 제1 실시예(931) 및 제2 실시예(932)의 광전류값(Photocurrent)을 비교하였고, 모든 광출력 밀도에서 제2 실시예(932)의 광전류값이 제1 실시예(931)의 광전류값보다 큰 것을 확인시켜준다.

[0187] 이를 통해 확인한 선형 동적 범위(Linear dynamic range, LDR)에서 제2 실시예(932)는 전체 광출력 밀도에서 광전류값이 직선 형태를 유지하며 큰 LDR 값을 가진 반면, 제1 실시예(931)는 $20 \mu\text{W}/\text{cm}^2$ 부터 급격히 변화하는 모습을 보이면서 더 작은 LDR 값을 가지는 것을 확인시켜준다.

[0188] 도 10a는 본 발명의 제1 실시예에 따른 각각의 하이브리드 포토트랜지스터에 대하여 광출력 밀도와 게이트 전압에 따라 응답도, 검출도 및 광 민감도를 예시한다.

[0189] 도 10a를 참고하면, 그래프(1000)는 제1 실시예에 따른 각각의 하이브리드 포토트랜지스터의 응답도를 나타내고, 광출력 밀도가 낮을수록 최대 응답도가 큰 것을 확인시켜준다.

[0190] 그래프(1001)는 제1 실시예에 따른 각각의 하이브리드 포토트랜지스터의 검출도를 나타내고, 광출력 밀도가 낮을수록 최대 검출도가 큰 것을 확인시켜준다.

[0191] 그래프(1002)는 제1 실시예에 따른 각각의 하이브리드 포토트랜지스터의 광민감도를 나타내고, 광출력 밀도가 낮을수록 최대 광민감도가 큰 것을 확인시켜준다.

[0192] 도 10b는 본 발명의 제2 실시예에 따른 각각의 하이브리드 포토트랜지스터에 대하여 광출력 밀도와 게이트 전압에 따라 응답도, 검출도 및 광 민감도를 예시한다.

[0193] 도 10b를 참고하면, 그래프(1010)는 제1 실시예에 따른 각각의 하이브리드 포토트랜지스터의 응답도를 나타내고, 광출력 밀도가 낮을수록 최대 응답도가 큰 것을 확인시켜준다.

[0194] 그래프(1011)는 제1 실시예에 따른 각각의 하이브리드 포토트랜지스터의 검출도를 나타내고, 광출력 밀도가 낮을수록 최대 검출도가 큰 것을 확인시켜준다.

[0195] 그래프(1012)는 제1 실시예에 따른 각각의 하이브리드 포토트랜지스터의 광민감도를 나타내고, 광출력 밀도가 낮을수록 최대 광민감도가 큰 것을 확인시켜준다.

[0196] 상술한 실시예들에 기반하여 제1 실시예 및 제2 실시예와 제1 비교 실시예 및 제2 비교 실시예에 따른 빛의 세기에 따른 응답도(responsivity), 검출도(detectivity) 및 광민감도(photosensitivity)에 대한 수치는 하기 표 1과 같이 정리할 수 있다.

[표 1]

Light power density	Responsivity [A/W]		Detectivity [Jones]		Photosensitivity	
	ZnON/InAs-ME	ZnON/InAs-ME/InAs-InCl ₃	ZnON/InAs-ME	ZnON/InAs-ME/InAs-InCl ₃	ZnON/InAs-ME	ZnON/InAs-ME/InAs-InCl ₃
2 $\mu\text{W}/\text{cm}^2$	1.88×10^3	2.71×10^4	5.02×10^{14}	9.38×10^{15}	3.81×10^2	1.16×10^5
20 $\mu\text{W}/\text{cm}^2$	1.40×10^3	7.11×10^3	4.91×10^{14}	6.18×10^{15}	4.83×10^3	1.48×10^6
200 $\mu\text{W}/\text{cm}^2$	4.80×10^2	1.33×10^3	1.58×10^{14}	1.20×10^{15}	1.53×10^4	4.67×10^6
2 mW/cm ²	9.50×10^1	1.56×10^2	2.98×10^{13}	2.09×10^{14}	2.65×10^4	8.09×10^6
20 mW/cm ²	1.37×10^1	2.20×10^1	4.24×10^{12}	2.72×10^{13}	3.48×10^4	1.06×10^7

[0199] 다시 한번 정리하면, 제1 실시예는 캐리어수송층이 ZnON으로 형성되고, 제1 광흡수층이 InAs-ME로 형성된다.

[0201] 제2 실시예는 캐리어수송층이 ZnON으로 형성되고, 제1 광흡수층이 InAs-ME로 형성되며, 제2 광흡수층이 InAs-InCl₃로 형성된다.

[0202] 한편, 제1 비교 예는 캐리어수송층만 ZnON으로 형성되고, 제2 비교 예는 캐리어수송층이 IGZO로 형성되고 하나의 광흡수층이 InAs-ME로 형성된다.

[0203] 따라서, 본 발명은 높은 캐리어 이동도와 낮은 오프 전류(off-current) 및 비활성화된 산소공공을 가지는 아연

산질화물(Zinc oxynitride, ZnON)을 사용하여 기존 산화물 기반 포토트랜지스터보다 개선된 회복시간, 적외선 영역에서 뛰어난 광응답도 및 검출도(detectivity)를 가지는 하이브리드 포토트랜지스터를 제조할 수 있다.

[0204] 또한, 본 발명은 비화 인듐 양자점과 아연 산질화물과 적용하여 각 물질이 가지는 포토트랜지스터의 물질로서의 장점을 극대화하고 단점은 보완하여 기존의 적외선 영역에서 뛰어난 광응답도와 검출도를 동시에 제공하는 하이브리드 포토트랜지스터를 제조할 수 있다.

[0206] 도 11 및 도 12는 본 발명의 일실시예에 따른 하이브리드 포토트랜지스터의 응답 시간을 설명하는 도면이다.

[0207] 도 11은 본 발명의 일실시예에 따른 제1 광흡수층을 포함하는 하이브리드 포토트랜지스터와 제1 및 제2 광흡수층을 포함하는 하이브리드 포토트랜지스터의 응답 시간을 나타낸다.

[0208] 도 11을 참고하면, 그래프(1100)는 제1 실시예에 해당하는 제1 광흡수층을 포함하는 하이브리드 포토트랜지스터의 응답 속도를 나타내고, 그래프(1110)는 제2 실시예에 해당하는 제1 및 제2 광흡수층을 포함하는 하이브리드 포토트랜지스터의 응답 속도를 나타낸다.

[0209] 그래프(1100)는 캐리어수송층을 형성하는 ZnON과 제1 광흡수층을 형성하는 InAs-ME 간의 이중 접합 구조에 기반한 응답 속도로 상승 시간(τ_{rise})과 하강 시간(τ_{fall})을 나타낸다.

[0210] 그래프(1110)는 캐리어수송층을 형성하는 ZnON과 제1 광흡수층을 형성하는 InAs-ME 및 제2 광흡수층을 형성하는 InAs-InCl₃의 이중 접합 구조에 기반한 응답 속도로 상승 시간(τ_{rise})과 하강 시간(τ_{fall})을 나타낸다.

[0211] 상승 시간은 전자가 이동하는데 걸리는 시간과 관련되고, 하강 시간은 정공이 남아있는 시간과 관련된다.

[0212] 그래프(1100)와 그래프(1110)를 비교하면, 제2 실시예가 상승 시간에 따라 전자가 이동하는 시간이 상대적으로 짧음에 전자의 이동도가 우수한 것을 나타내고, 하강 시간에 따른 측정 시간에 따라 정공이 머무는 시간이 유사한 것을 나타낸다.

[0213] 즉, 그래프(1100)와 그래프(1110)는 상승 시간은 제2 실시예가 빠르고, 하강 시간은 제1 실시예가 빠른 것을 확인 시켜준다.

[0214] 도 12는 본 발명의 일실시예에 따른 제1 광흡수층을 포함하는 하이브리드 포토트랜지스터의 응답 시간을 나타낸다.

[0215] 도 12를 참고하면, 그래프(1200) 및 그래프(1210)는 제1 광흡수층이 InAs-ME로 형성되고, 제1 광흡수층과 이중 접합을 이루는 캐리어수송층이 IGZO로 형성된 하이브리드 포토트랜지스터의 응답 속도를 나타낸다.

[0216] 즉, 그래프(1200)는 캐리어수송층을 형성하는 금속 산화물을 ZnON이 아닌 다른 금속 산화물로 형성하는 경우를 비교 예시한다.

[0217] 그래프(1200)는 상승 구간(τ_{rise})을 나타내고, 그래프(1210)는 하강 구간(τ_{fall})을 나타낸다.

[0218] 그래프(1200)의 상승 구간을 도 11에서의 그래프(1100) 및 그래프(1110)의 상승 구간을 비교하면 캐리어수송층으로의 전자 이동이 어려움을 확인시켜준다.

[0220] 도 13은 본 발명의 일실시예에 따른 하이브리드 포토트랜지스터의 광검출 특성의 정규화 결과를 설명하는 도면이다.

[0221] 도 13은 본 발명의 일실시예에 따른 하이브리드 포토트랜지스터의 광검출 특성의 정규화 결과를 제1 실시예에 해당하는 구조에서 제1 광흡수층을 형성하는 물질을 제2 광흡수층을 형성하는 물질로 대체한 제3 실시예를 제1 및 제2 실시예와 함께 응답도와 검출도를 비교하여 예시한다.

[0222] 도 13을 참고하면, 그래프(1300)는 하이브리드 포토트랜지스터의 제1 광흡수층을 InAs-InCl₃로 형성한 제3 실시예(1301), 하이브리드 포토트랜지스터의 제1 광흡수층을 InAs-ME로 형성한 제1 실시예(1302), 하이브리드 포토트랜지스터의 제1 광흡수층을 InAs-ME로 형성하고, 제2 광흡수층을 InAs-InCl₃로 형성한 제2 실시예(1303)에 대한 응답도(responsivity)를 나타낸다.

- [0223] 그래프(1300)는 제2 실시예(1303)가 제1 실시예(1302) 및 제3 실시예(1301)에 대비하여 응답도가 우수한 것을 보여준다.
- [0224] 한편, 제1 실시예(1302)는 제3 실시예(1301)에 비교하여 상대적으로 응답도가 우수한 것을 보여준다.
- [0225] 즉, 제1 광흡수층을 형성하기 위해 사용되는 양자점 물질에 치환되는 리간드 물질로 ME를 사용하는 것이 InCl_3 로 사용하는 것에 대비하여 응답도가 우수한 것을 보여준다.
- [0226] 그래프(1310)는 하이브리드 포토트랜지스터의 제1 광흡수층을 InAs-InCl_3 로 형성한 제3 실시예(1311), 하이브리드 포토트랜지스터의 제1 광흡수층을 InAs-ME 로 형성한 제1 실시예(1312), 하이브리드 포토트랜지스터의 제1 광흡수층을 InAs-ME 로 형성하고, 제2 광흡수층을 InAs-InCl_3 로 형성한 제2 실시예(1313)에 대한 검출도(detectivity)를 나타낸다.
- [0227] 그래프(1310)는 제2 실시예(1303)가 제1 실시예(1302) 및 제3 실시예(1301)에 대비하여 응답도가 우수한 것을 보여준다.
- [0228] 한편, 제1 실시예(1302)는 제3 실시예(1301)에 비교하여 상대적으로 검출도가 우수한 것을 보여준다.
- [0229] 즉, 제1 광흡수층을 형성하기 위해 사용되는 양자점 물질에 치환되는 리간드 물질로 ME를 사용하는 것이 InCl_3 로 사용하는 것에 대비하여 검출도가 우수한 것을 보여준다.
- [0231] 도 14a 내지 도 14c는 본 발명의 일실시예에 따른 하이브리드 포토트랜지스터의 대기 중에 방치한 후의 전달 특성 및 응답도를 비교 설명하는 도면이다.
- [0232] 도 14a는 본 발명의 일실시예에 따라 제1 광흡수층을 포함하는 하이브리드 포토트랜지스터와 제1 및 제2 광흡수층을 포함하는 하이브리드 포토트랜지스터 각각을 제조 직후와 제조 후 대기 중에 일주일 노출 후에 대한 광 검출에 따른 특성 결과를 예시한다.
- [0233] 도 14a를 참고하면, 그래프(1400)는 본 발명의 일실시예에 따라 제1 광흡수층을 포함하는 하이브리드 포토트랜지스터를 나타내고, 그래프(1401)는 본 발명의 일실시예에 따라 제1 및 제2 광흡수층을 포함하는 하이브리드 포토트랜지스터를 나타낸다.
- [0234] 그래프(1400) 및 그래프(1401)에서는 어두운 부분(Dark)과 밝은 부분(Light)에서 제조 직후(As-fabricated)와 일주일 경과 후(After 1 week)를 비교한다.
- [0235] 그래프(1400) 및 그래프(1401)를 비교하면 제1 및 제2 광흡수층을 포함하는 하이브리드 포토트랜지스터가 어두운 부분(Dark)과 밝은 부분(Light)에서 검출 값의 차이가 적음에 상대적으로 안정성이 우수한 것을 확인할 수 있다.
- [0236] 그래프(1400)는 제1 광흡수층을 포함하는 하이브리드 포토트랜지스터도 검출 값의 변화가 적음에 공기 중에 노출되더라도 광 검출의 안정성이 우수한 것을 확인할 수 있다.
- [0237] 도 14b는 본 발명의 일실시예에 따라 제1 광흡수층을 포함하는 하이브리드 포토트랜지스터와 제1 및 제2 광흡수층을 포함하는 하이브리드 포토트랜지스터의 광 검출 특성을 비교한다.
- [0238] 도 14b를 참고하면, 그래프(1410)는 제1 실시예에 해당하는 캐리어수송층(ZnON) 상에 제1 광흡수층(InAs-ME)을 포함하는 하이브리드 포토트랜지스터의 광전류(I_{ph}) 변화율을 나타내고, 제2 실시예에 해당하는 캐리어수송층(ZnON) 상에 제1 광흡수층(InAs-ME) 및 제2 광흡수층(InAs-InCl_3)을 포함하는 하이브리드 포토트랜지스터의 광전류(I_{ph}) 변화율을 나타낸다.
- [0239] 제1 실시예와 제2 실시예를 비교하면, 제2 실시예가 변화율이 상대적으로 크지 않은 것을 확인할 수 있다.
- [0240] 이에 따라, 본 발명에 따른 하이브리드 포토트랜지스터가 흡광 특성이 우수하고 독성이 적은 물질인 InAs-ME 그리고 InAs-InCl_3 과 전기적 특성이 우수한 물질인 ZnON 의 이중 집합을 박막 트랜지스터 구조에 적용에 기반하여 광 검출 특성이 증가된 것을 확인할 수 있다.
- [0241] 도 14c는 본 발명의 일실시예에 따라 제1 광흡수층을 포함하는 하이브리드 포토트랜지스터와 제1 및 제2 광흡수

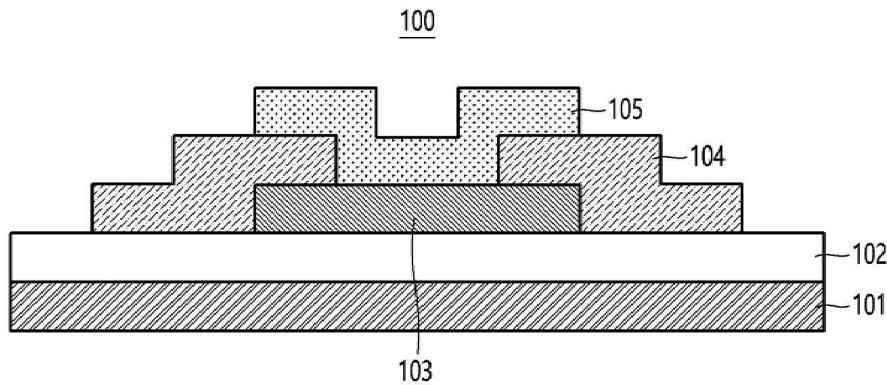
층을 포함하는 하이브리드 포토트랜지스터 각각의 제조 직후와 제조 일주일 경과후를 비교하여 안정성과 관련하여 응답도 변화를 예시한다.

- [0243] 도 14c를 참고하면, 그래프(1420)는 본 발명의 일실시예에 따라 제1 광흡수층을 포함하는 하이브리드 포토트랜지스터에 해당하는 제1 실시예를 나타내고, 그래프(1421)는 본 발명의 일실시예에 따라 제1 및 제2 광흡수층을 포함하는 하이브리드 포토트랜지스터에 해당하는 제2 실시예를 나타낸다.
- [0244] 그래프(1420)는 제1 실시예를 나타내고, 제조 직후(As-fabricated)는 최대 응답도가 100%에서 제조 일주일 경과 후(After 1 week)는 최대 응답도가 71.8%인 것을 보여준다.
- [0245] 그래프(1421)는 제2 실시예를 나타내고, 제조 직후(As-fabricated)는 최대 응답도가 100%에서 제조 일주일 경과 후(After 1 week)는 최대 응답도가 79.9%인 것을 보여준다.
- [0246] 제1 실시예는 감소율이 약 28.2%이고, 제2 실시예는 감소율이 약 20.1%인 것을 보여준다.
- [0247] 제1 실시예에 비교하여 제2 실시예가 응답도의 감소가 작은 것을 보여주고, 이는 안정성이 우수한 것으로 볼 수 있다.
- [0248] 즉, 본 발명의 일실시예에 따라 제조되는 하이브리드 포토트랜지스터는 대기 중에 노출되더라도 광 검출 성능이 우수하게 유지되는 것을 확인시켜준다.
- [0250] 도 15a 및 도 15b는 본 발명의 일실시예에 따른 하이브리드 포토트랜지스터의 전자 현미경 이미지를 설명하는 도면이다.
- [0251] 도 15a는 본 발명의 일실시예에 따라 적어도 하나의 광흡수층 중 제1 광흡수층을 포함하는 하이브리드 포토트랜지스터의 전자 현미경 이미지를 예시한다.
- [0252] 도 15a를 참고하면, 본 발명의 일실시예에 따른 하이브리드 포토트랜지스터의 전자 현미경 이미지(1500)에서 캐리어수송층(ZnON)과 광흡수층(InAs-ME)이 이중 접합 구조를 이루고, 광흡수층(InAs-ME) 상에 금속 코팅층(Pt)이 형성된다.
- [0253] 확대 이미지(1501)는 광흡수층(InAs-ME)과 금속 코팅층(Pt)의 접합 부위를 나타낸다.
- [0254] 도 15b는 본 발명의 일실시예에 따라 적어도 하나의 광흡수층 중 제1 및 제2 광흡수층을 포함하는 하이브리드 포토트랜지스터의 전자 현미경 이미지를 예시한다.
- [0255] 도 15b를 참고하면, 본 발명의 일실시예에 따른 하이브리드 포토트랜지스터의 전자 현미경 이미지(1510)에서 캐리어수송층(ZnON)과 제1 광흡수층(InAs-ME) 및 제2 광흡수층(InAs-InCl₃)이 이중 접합 구조를 이루고, 제2 광흡수층(InAs-InCl₃) 상에 금속 코팅층(Pt)이 형성된다.
- [0256] 확대 이미지(1511)는 제2 광흡수층(InAs-InCl₃)과 금속 코팅층(Pt)의 접합 부위를 나타낸다.
- [0258] 도 16은 본 발명의 일실시예에 따른 하이브리드 포토트랜지스터를 형성하는 XPS(X-ray Photoelectron Spectroscopy)를 설명하는 도면이다.
- [0259] 도 16은 본 발명의 일실시예에 따른 하이브리드 포토트랜지스터를 형성하는 XPS를 예시한다.
- [0260] 도 16을 참고하면, 그래프(1600)는 하이브리드 포토트랜지스터가 제1 광흡수층으로 구성되는 경우에 따른 XPS 측정 결과를 나타내고, 그래프(1610)는 하이브리드 포토트랜지스터가 제1 광흡수층과 함께 제2 광흡수층으로 구성되는 경우에 따른 XPS 측정 결과를 나타낸다.
- [0261] 그래프(1600)와 그래프(1610)를 비교하면 그래프(1600)에서 상대적으로 리간드에 포함되는 원소가 적게 측정되는 것을 확인할 수 있다.
- [0262] 그래프(1600)는 S 2P만 측정되는 것을 보여주고, 그래프(1610)는 S 2P와 함께 Cl 2P가 측정되는 것을 확인시켜 준다.

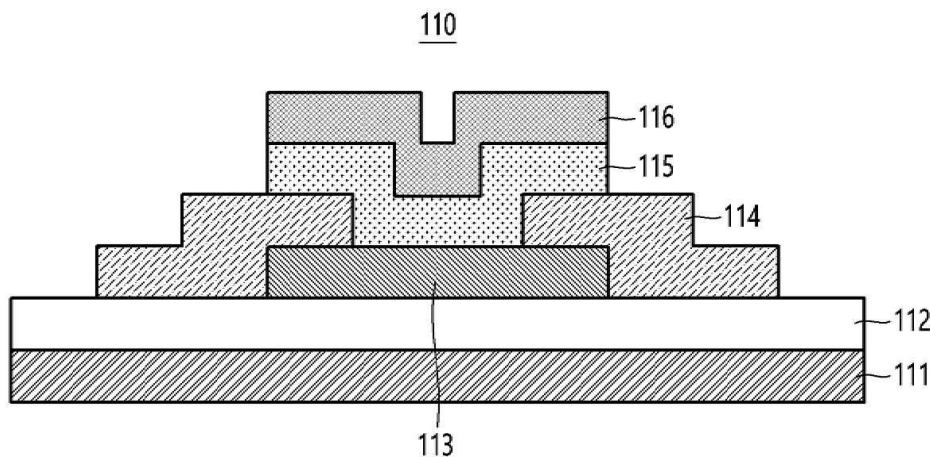
- [0264] 상술한 구체적인 실시 예들에서, 발명에 포함되는 구성 요소는 제시된 구체적인 실시 예에 따라 단수 또는 복수로 표현되었다.
- [0265] 그러나, 단수 또는 복수의 표현은 설명의 편의를 위해 제시한 상황에 적합하게 선택된 것으로서, 상술한 실시 예들이 단수 또는 복수의 구성 요소에 제한되는 것은 아니며, 복수로 표현된 구성 요소라 하더라도 단수로 구성되거나, 단수로 표현된 구성 요소라 하더라도 복수로 구성될 수 있다.
- [0266] 한편 발명의 설명에서는 구체적인 실시 예에 관해 설명하였으나, 다양한 실시 예들이 내포하는 기술적 사상의 범위에서 벗어나지 않는 한도 내에서 여러 가지 변형이 가능함은 물론이다.
- [0267] 그러므로 본 발명의 범위는 설명된 실시 예에 국한되어 정해져서는 아니되며 후술하는 청구범위뿐만 아니라 이 청구범위와 균등한 것들에 의해 정해져야 한다.

도면

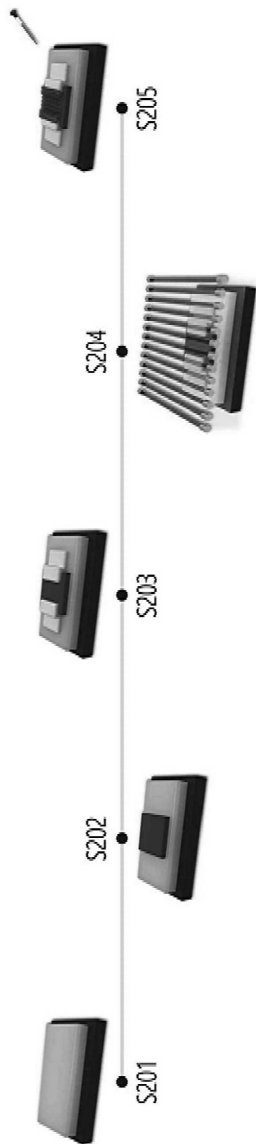
도면1a



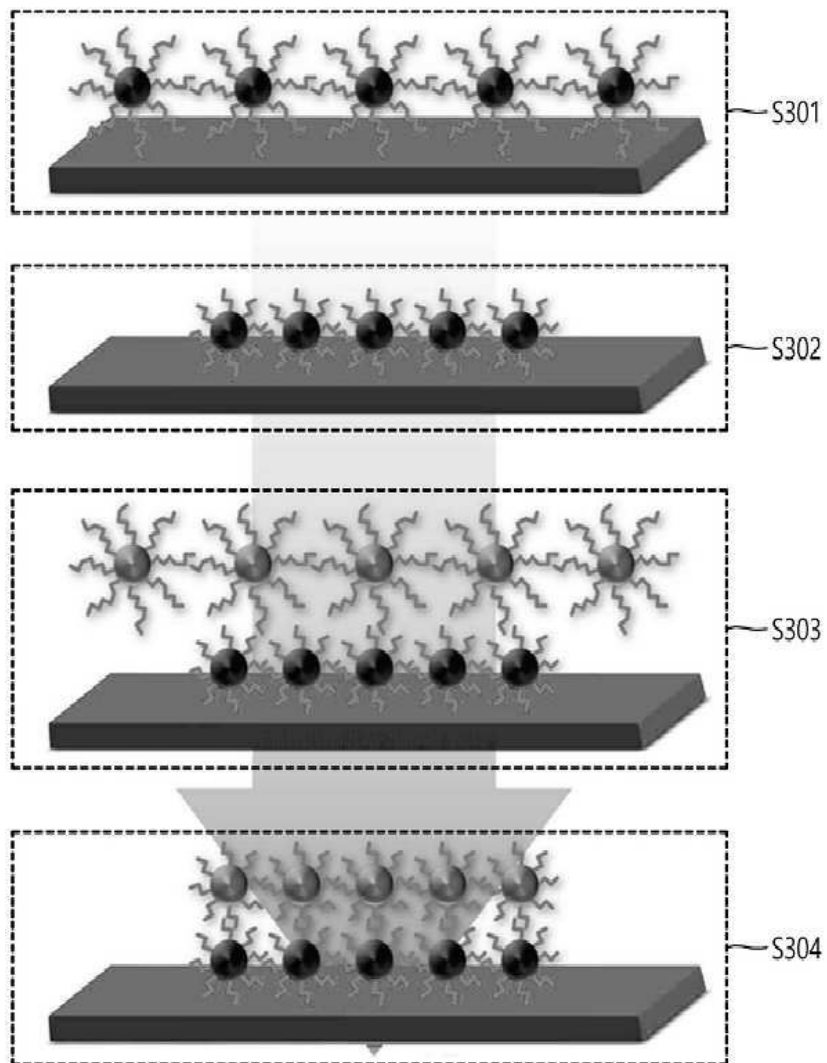
도면1b



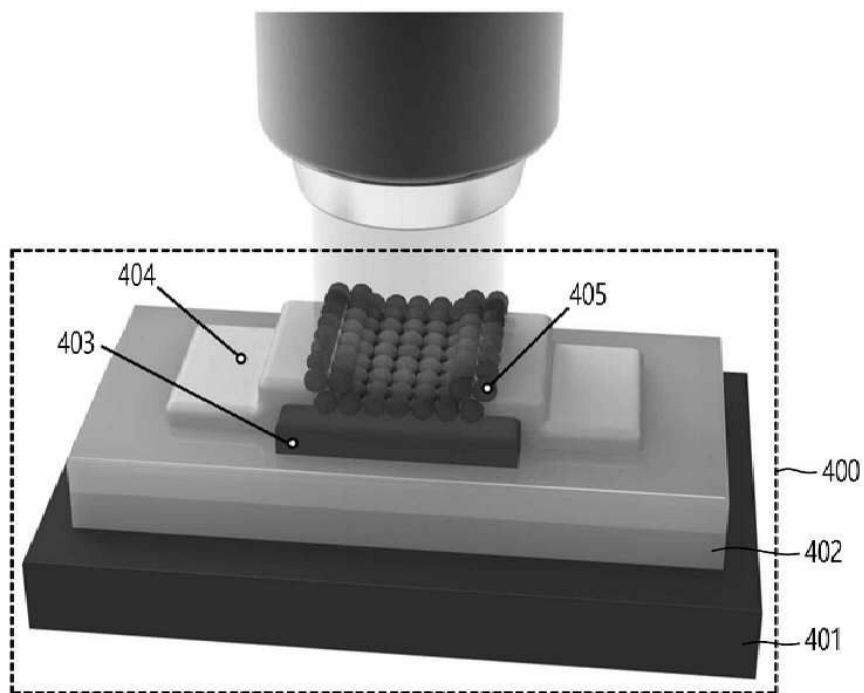
도면2



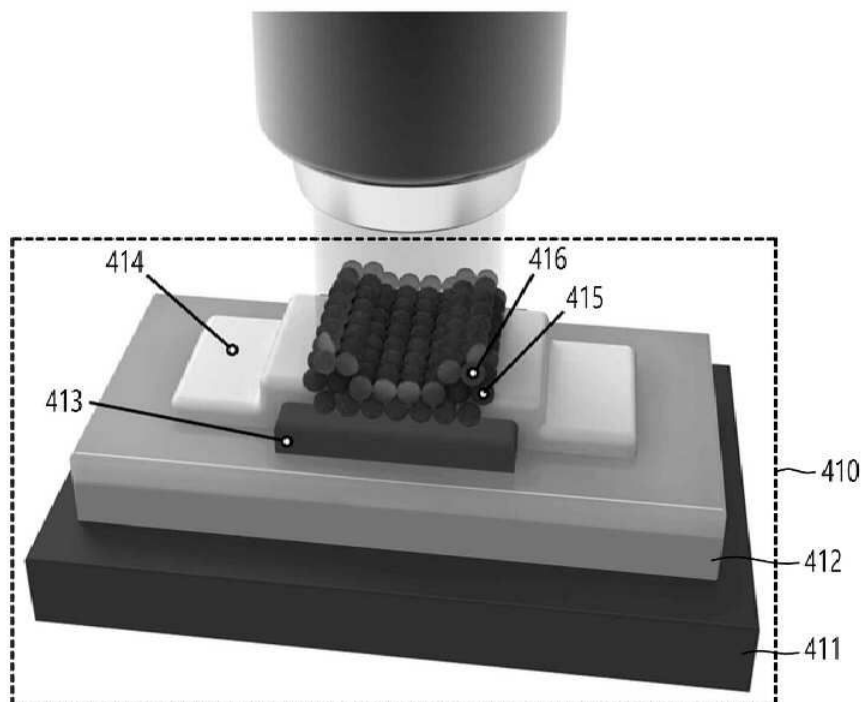
도면3



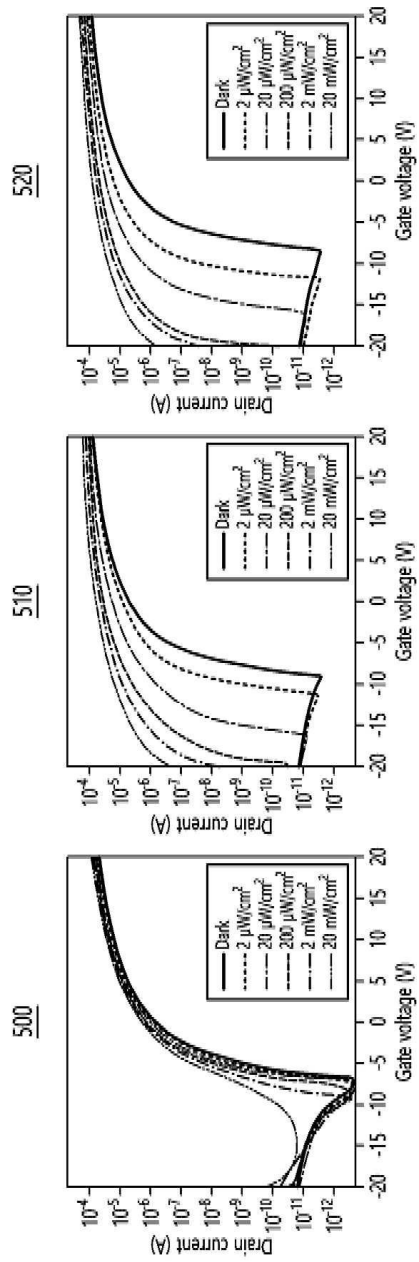
도면4a



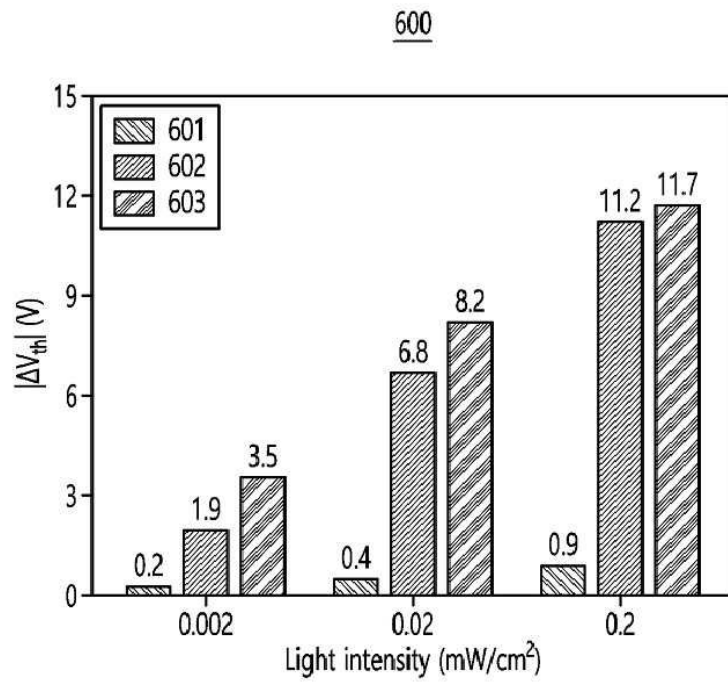
도면4b



도면5

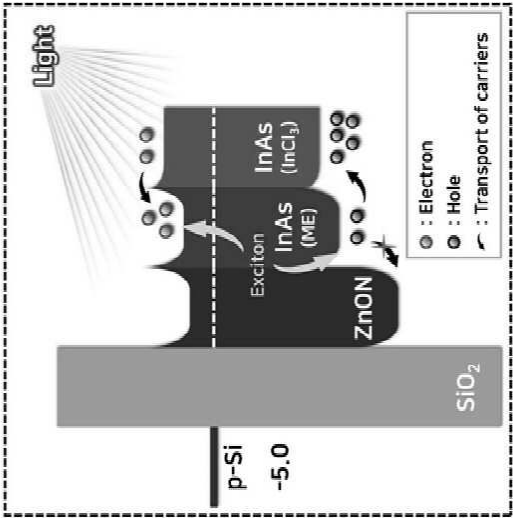


도면6

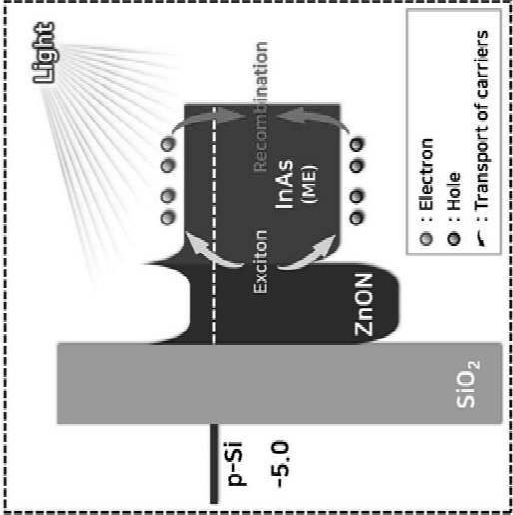


도면7a

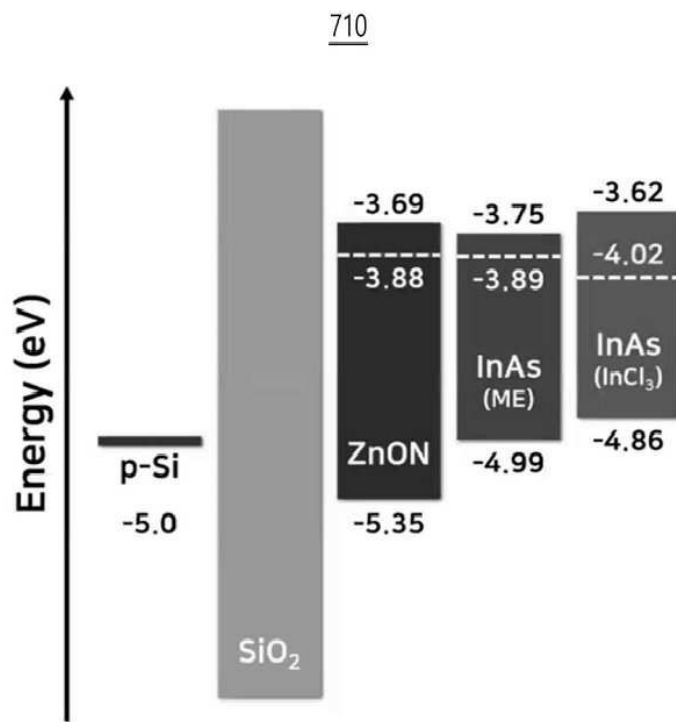
701



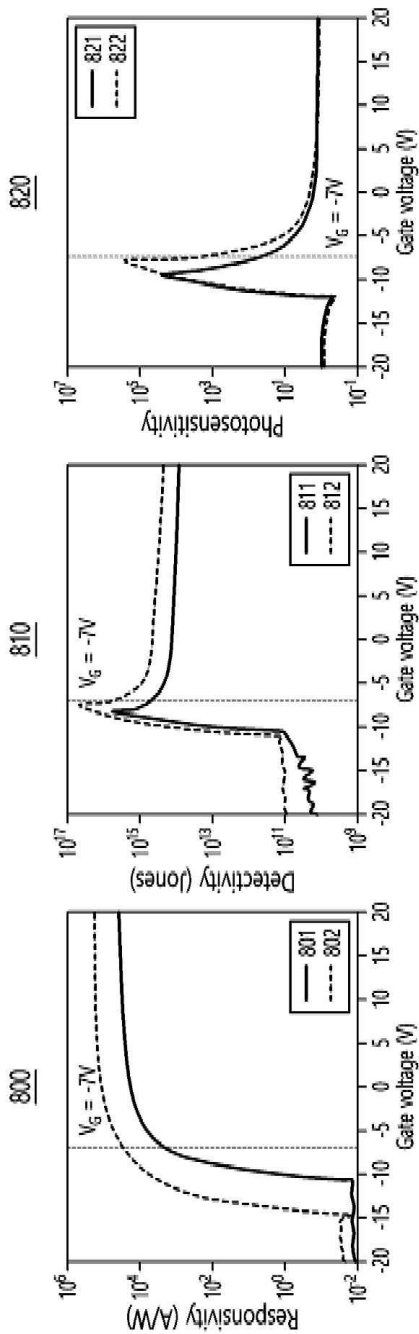
700



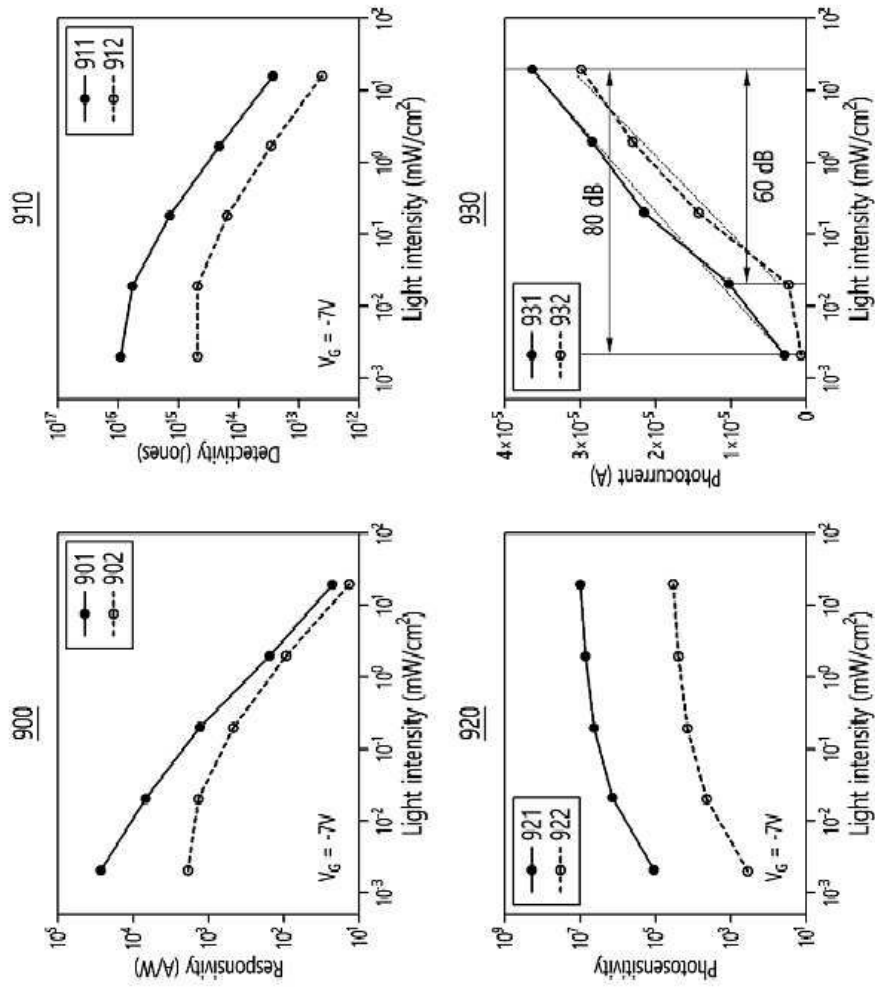
도면 7b



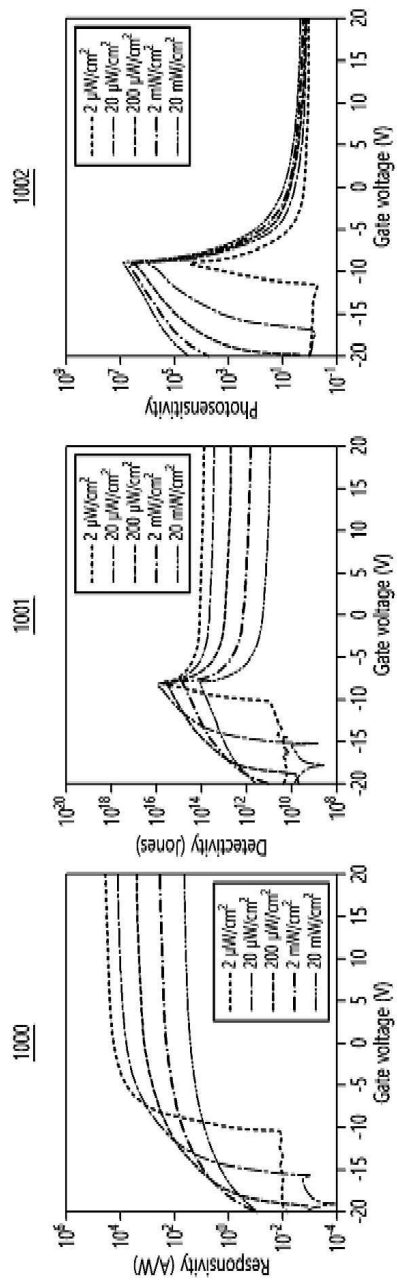
도면8



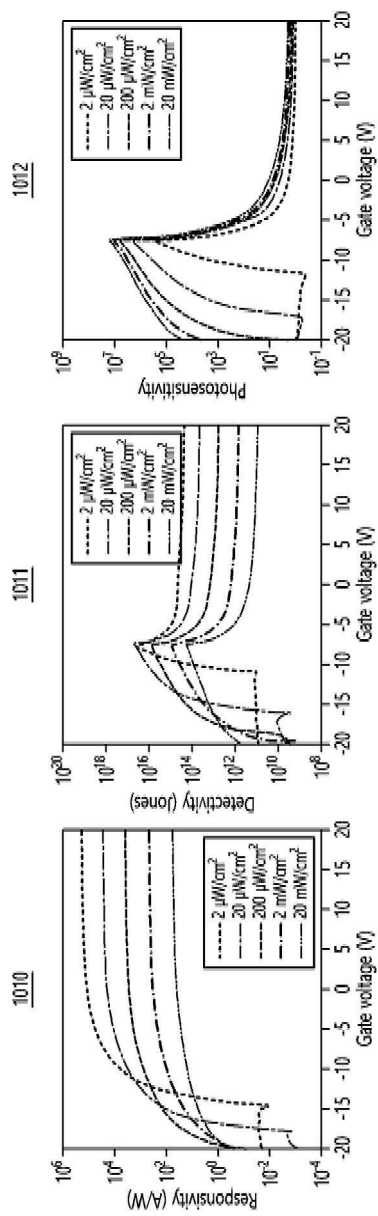
도면9



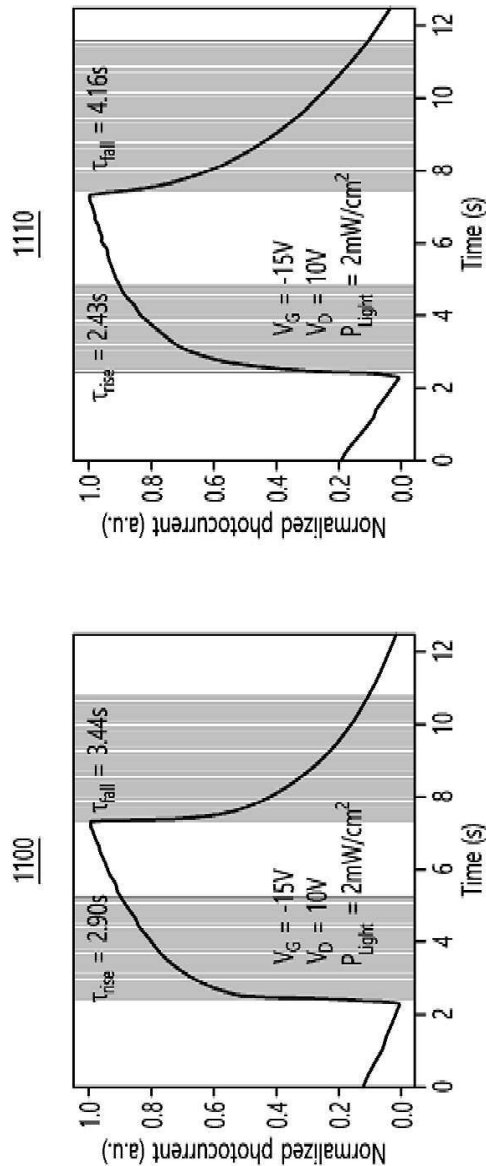
도면10a



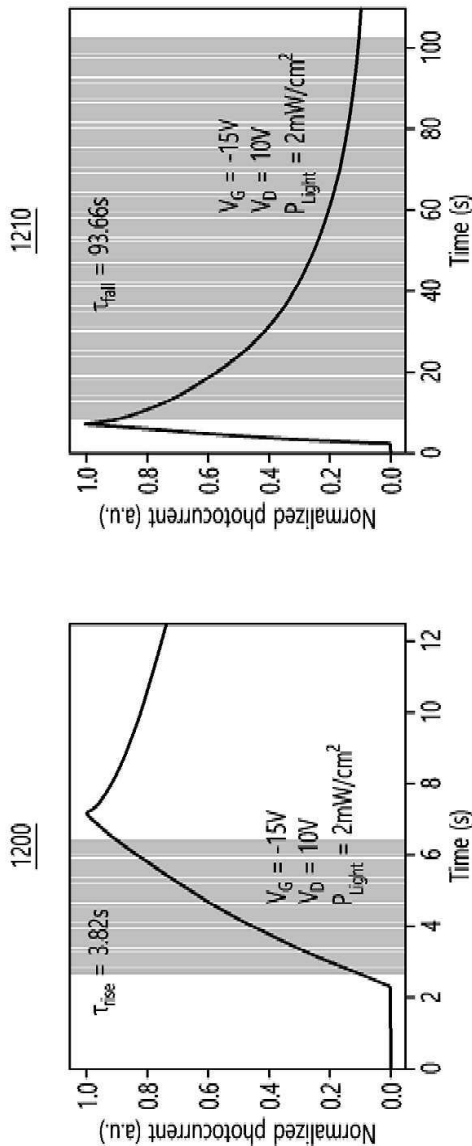
도면10b



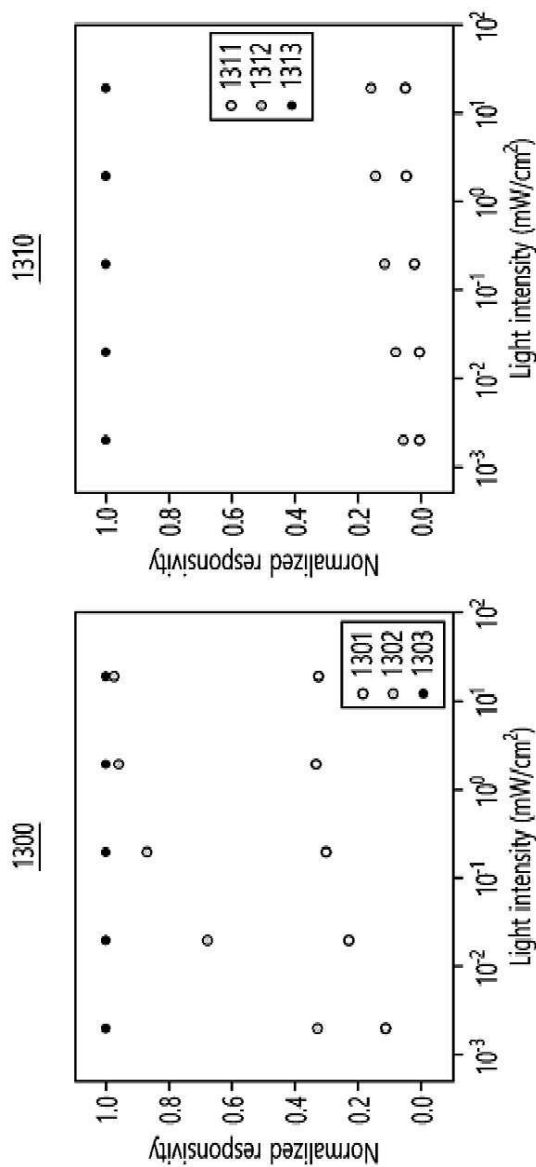
도면11



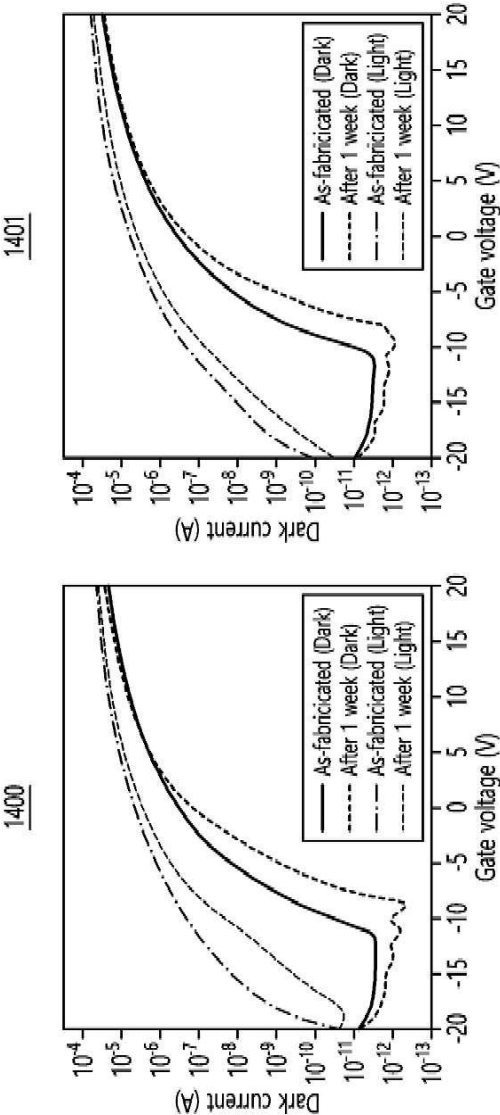
도면12



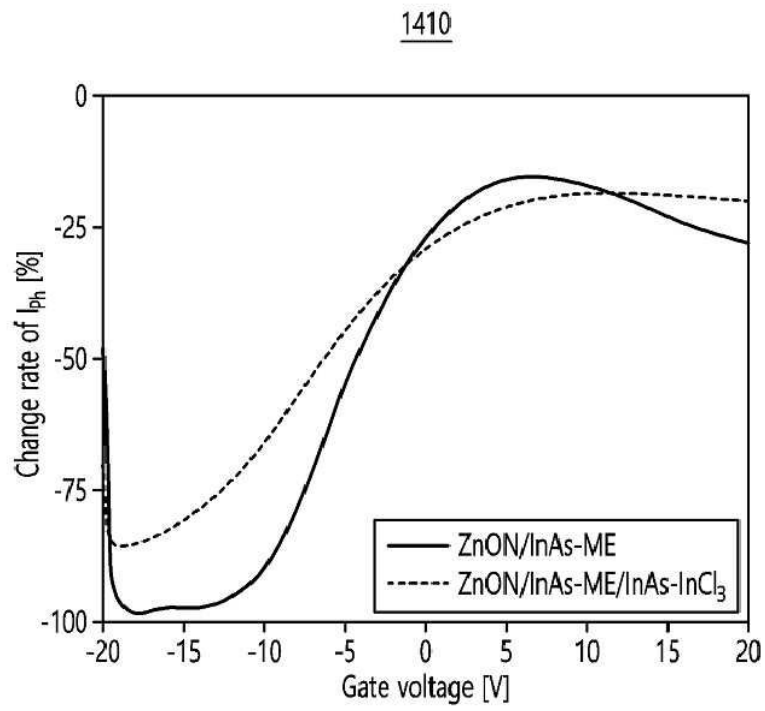
도면13



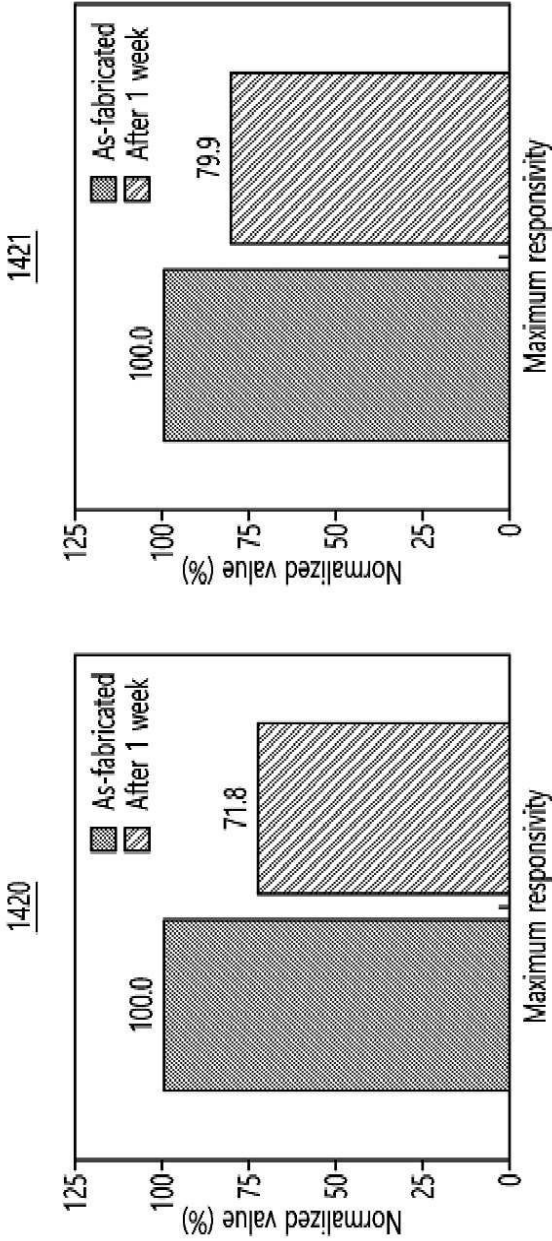
도면14a



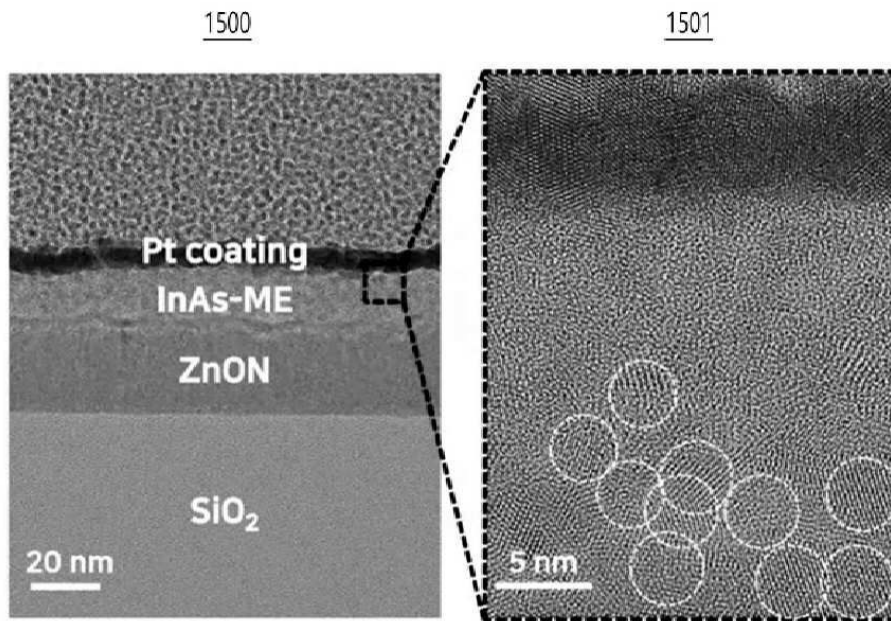
도면14b



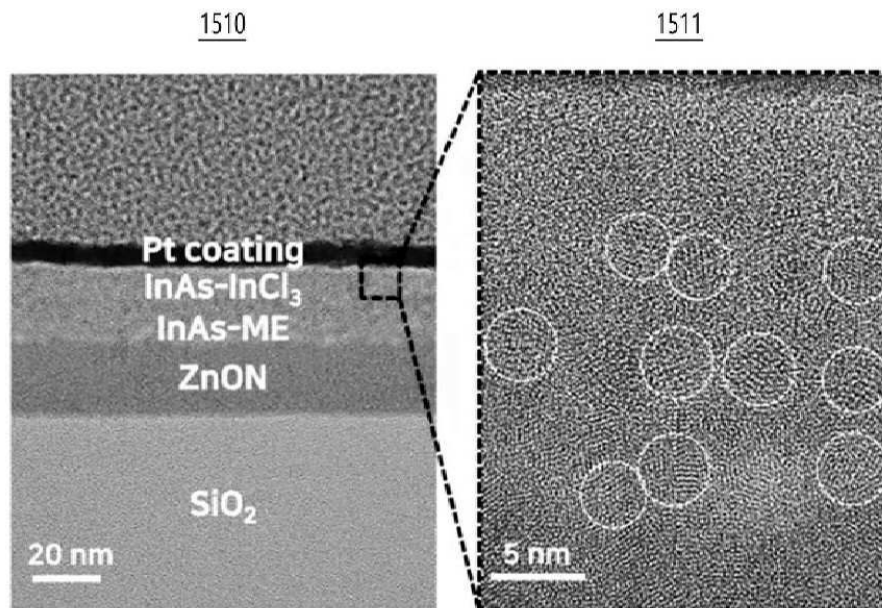
도면14c



도면 15a



도면 15b



도면16

