



(19) 대한민국특허청(KR)

(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2016-0004433

(43) 공개일자 2016년01월13일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)

H01L 31/09 (2006.01) *H01L 29/786* (2006.01)

H01L 31/101 (2006.01)

(21) 출원번호 10-2014-0082395

(22) 출원일자 2014년07월02일

심사청구일자 2014년07월02일

(71) 출원인

경희대학교 산학협력단

경기도 용인시 기흥구 덕영대로 1732 (서천동, 경희대학교 국제캠퍼스내)

(72) 발명자

김선국

경기도 용인시 기흥구 덕영대로 1732 전자정보대
516호 (서천동)

홍영기

서울특별시 성북구 송인로2길 61, 103동 1603호
(길음동, 길음동부센트레빌아파트)

권준연

경기 용인시 기흥구 용구대로 2460, 109동 (보정동, 연원마을삼성명가타운아파트)

(74) 대리인

김연권

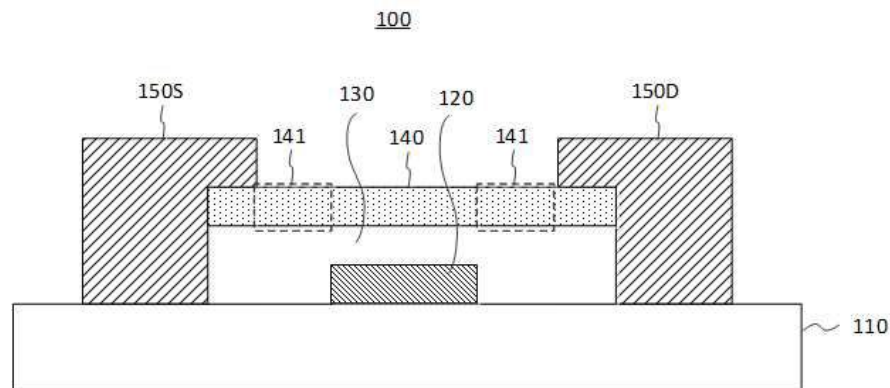
전체 청구항 수 : 총 7 항

(54) 발명의 명칭 광반응성 증폭 포토 디바이스 및 그 제조방법

(57) 요약

국부적 게이트 전극 구조를 통하여 빛이 인가되는 경우, 전자-전공 쌍이 국부적 게이트 전극과 중첩하지 않는 채널 영역의 비오버랩 영역에서도 생성되어 전도성 및 광반응성이 증폭되는 포토컨덕터와 포토트랜지스터를 포함하는 포터 디바이스를 제공한다.

대표도 - 도1



이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호 2013M3C1A3059590

부처명 미래창조과학부

연구관리전문기관 경희대학교 산학협력단

연구사업명 원천기술개발사업 > 첨단융합기술개발사업 > 미래유망융합기술 파이오니아사업

연구과제명 가변렌즈용 고유연 광전자 나노소자 연구

기 여 율 1/2

주관기관 경희대학교 산학협력단

연구기간 2013.09.01 ~ 2019.02.28이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호 2012R1A1A1042630

부처명 미래창조과학부

연구관리전문기관 경희대학교 산학협력단

연구사업명 이공분야기초연구사업 > 일반연구지원사업 > 신진연구지원사업

연구과제명 나노 판상 트랜지스터 회로를 이용한 고효율 저전력 투명 유연 디스플레이 개발

기 여 율 1/2

주관기관 경희대학교 산학협력단

연구기간 2012.09.01 ~ 2015.08.31

명세서

청구범위

청구항 1

국부적 게이트 전극, 소스전극, 드레인 전극, 및 상기 소스 전극 및 상기 드레인 전극 사이에 채널이 형성되도록 하고, 상기 게이트 전극과 중첩되지 않은 비오버랩 영역을 포함하는 채널 영역을 포함하며,

상기 비오버랩 영역은 광전도성을 증폭시키는 포토 컨덕터(photo conductor)로 동작하는 광반응성 증폭 포토 디바이스.

청구항 2

제1항에 있어서,

상기 비오버랩 영역은 상기 소스 전극 및 드레인 전극의 양 측면 방향에 각각 형성되거나, 상기 소스 전극 및 드레인 전극 중 어느 한 측면 방향에 형성되는 것을 특징으로 하는 광반응성 증폭 포토 디바이스.

청구항 3

제1항에 있어서,

상기 채널 영역은 전이금속 칼코겐 화합물(Transition Metal Dichalcogenides)로 형성되는 것을 특징으로 하는 광반응성 증폭 포토 디바이스.

청구항 4

제3항에 있어서,

상기 전이금속 칼코겐 화합물은,

이황화 몰리브덴(Molybdenum Disulfide, MoS_2), 이셀레니드 몰리브덴(Molybdenum Diselenide, MoSe_2), 이셀레니드 텅스텐(Tungsten Diselenide, WSe_2), 이텔루리드 몰리브덴(Molybdenum Ditetelluride, MoTe_2), 및 이셀레니드 주석(Tin Diselenide, SnSe_2) 중 적어도 어느 하나의 화합물인 것을 특징으로 하는 광반응성 증폭 포토 디바이스.

청구항 5

제1항에 있어서,

상기 게이트 전극과, 상기 소스전극 및 드레인 전극은 금속 및 투명 전도성 물질 중 어느 하나의 물질로 이루어지고,

상기 투명 전도성 물질은 비정질 산화물, 결정질 산화물, 그래핀(graphene), 및 고분자 유기물 중 적어도 하나 이상의 물질인 것을 특징으로 하는 광반응성 증폭 포토 디바이스.

청구항 6

기관 상에 형성된 국부적 하부 게이트 전극;

상기 국부적 하부 게이트 전극을 덮도록 상기 기관 상에 형성되는 게이트 절연층;

상기 게이트 절연층의 양측에 각각 형성된 소스 전극 및 드레인 전극; 및

상기 게이트 절연층 상에 형성되고, 상기 소스 전극 및 상기 드레인 전극 사이에 채널이 형성되도록 하며, 상기 국부적 하부 게이트 전극과 중첩되지 않은 비오버랩 영역을 포함하는 채널 영역

을 포함하고,

상기 비오버랩 영역은 광전도성을 증폭시키는 포토 컨덕터(photo conductor)로 동작하는 것을 특징으로 하는 광 반응성 증폭 포토 디바이스.

청구항 7

기판 상에 형성된 절연층;

상기 절연층 상에 형성되는 채널 영역;

상기 채널 영역 상에 게이트 절연층을 개재하여 형성된 국부적 상부 게이트 전극; 및

상기 절연층 상에 형성되고, 상기 채널 영역에 의해 연결되는 소스 전극 및 드레인 전극을 포함하고,

상기 채널 영역은 대응하는 상기 게이트 전극과 중첩되지 않은 비오버랩 영역을 포함하며, 상기 비오버랩 영역은 광전도성을 증폭시키는 포토 컨덕터로 동작하는 것을 특징으로 하는 광반응성 증폭 포토 디바이스.

발명의 설명

기술 분야

[0001] 본 발명은 전이금속 칼코겐 화합물을 채널 영역의 물질로 하는 채널 영역이 하부 게이트 전극과 중첩되지 않은 비오버랩 영역을 포함하는 국부적 게이트 구조를 통하여 광반응성을 증폭시킨 포토 디바이스 및 그 제조 방법에 관한 것이다.

배경 기술

[0002] 최근 차세대 디스플레이에 관한 연구로서 플렉시블 디스플레이, 투명 디스플레이, 3D 디스플레이 및 고해상도 디스플레이에 관한 연구가 매우 활발히 진행 중에 있다. 이러한 차세대 디스플레이 구현을 위해 현재의 기술은 비결정질 실리콘(a-Si), LTPS(low temperature poly silicon) 박막형 필름을 채널물질로 사용한 TFT(thin film transistor)를 이용하지만 고온 증착시 플렉시블 기판의 기계적 변형에 의한 문제점이 있다. 또한, 구부러지는 동안 쉽게 깨지는 특성, 불투명성, 및 무엇보다도 가장 큰 단점인 물질의 이동도가 $30\text{cm}^2/\text{Vsec}$ 이하이므로 고해상도를 적용하기에 큰 한계성을 보이고 있었다.

[0003] 전자회로에서 스위치 역할을 하는 트랜지스터는 전자산업의 핵심소자로 컴퓨터, 휴대전화, LCD, OLED의 평판 디스플레이 등의 다양한 제품에서 사용되고 있다. 특히, 평판 디스플레이에는 비정질 실리콘 또는 다결정 실리콘을 이용한 박막트랜지스터가 주로 사용되고 있으나, 비정질 실리콘은 이동도가 낮으며 ($< 1\text{cm}^2/\text{Vs}$), 다결정 실리콘은 대면적화가 어려운 단점이 있다.

[0004] 디스플레이 작동속도는 트랜지스터의 이동도와 밀접한 관련이 있으며, 향후 고화질 평판 디스플레이 및 구부러지는 플렉시블 디스플레이의 구현을 위해서는 속도가 빠르고(이동도 약 $50\text{cm}^2/\text{Vs}$) 소비전력이 적은 반도체 재료가 필요하다. 이를 위해 산화물 반도체 등을 이용한 트랜지스터 연구가 활발하나 이동도(약 $10\text{cm}^2/\text{Vs}$)와 소비전력이 산업계의 요구에는 미치지 못하고 있는 실정이다.

[0005] 탄소 원자들이 육각형의 벌집 모양으로 배열된 그래핀은 대표적인 이차원 물질로 그 놀라운 특성으로 인해 매우 큰 관심을 받고 있으며, 강철보다 200배 이상 강하며, 다이아몬드보다 2배 이상 열전도율이 높으며, 구리보다 100배 이상 전기가 잘 통하며, 실리콘보다 100배 이상 전자가 빠르게 움직일 수 있다.

[0006] 그래핀의 이러한 기계적, 열적, 전기적 특성은 에너지 띠틈이 없는 그래핀의 전자구조에서 기인하고 있다. 그러나 역설적으로 이러한 에너지 띠틈이 없는 그래핀은 반도체가 아닌 준금속의 특성을 보이며, 전자산업의 핵심 소자인 트랜지스터로의 상용화에 큰 장벽이 되고 있다.

[0007] 따라서, 트랜지스터 응용을 위해 그래핀에 에너지 띠틈을 만들 수 있는 그래핀 나노리본이나 그래핀 겹층에 대한 연구가 활발히 진행되어 왔으나, 약 0.4 eV의 제한적인 띠틈만이 가능하며 띠틈이 형성되면 이동도가 급격히 감소하는 문제가 있어 실질적인 응용에는 한계가 있는 상황이다.

[0008] 이러한 문제를 극복하기 위하여 많은 연구자들은 그래핀 이외의 이차원 물질에 주목하기 시작하였으며, 그 가운데

데 최근 이황화몰리브덴(MoS_2)과 같은 전이금속 칼코겐화합물에 대한 관심이 급증하고 있다. 전이금속 칼코겐화합물은 MX_2 의 화학식으로 표현되며 여기서 M은 전이금속 원소(주기율표 4~6족)이고, X는 칼코겐 원소(주기율표 7족인 S, Se, Te)이다.

[0009] 이러한 전이금속 칼코겐화합물은 흑연과 유사한 층상구조를 가지며, 공유결합으로 이루어진 X-M-X층이 느슨한 판데르발스 결합으로 유지되고 있다. 이러한 전이금속 칼코겐화합물 가운데 현재 트랜지스터 응용을 위해 가장 활발히 연구가 진행되고 있다.

[0010] 이러한 전이금속 칼코겐 화합물은 층의 갯수에 따라 단층은 직접천이(direct) 밴드갭을 갖고, 다층(2층이상)에서는 간접천이(indirect) 밴드갭을 갖는데, 간접천이 밴드갭을 갖는 다층 전이금속 칼코겐 화합물은 물리적으로 광반응성이 낮기 때문에 낮은 광반응성($\sim 100\text{mW}^{-1}$)으로 인하여 다양한 광 디바이스로의 활용성이 낮은 문제점이 있었다.

선행기술문헌

특허문헌

[0011] (특허문헌 0001) 대한민국 등록특허 제1376732호(2014.03.14), "다층 전이금속 칼코겐 화합물을 이용한 투명전자소자, 이를 이용한 광전자 소자 및 트랜지스터 소자"

(특허문헌 0002) 대한민국 등록특허 제1381169호(2014.03.28), "재결정화된 전이금속 칼코겐화합물 소자 및 이를 이용한 트랜지스터 소자"

비특허문헌

[0012] (비특허문헌 0001) Woong Choi, et.al, Advanced Materials 24, 5382-5836 (2012)

(비특허문헌 0002) B. Radisavljevic, A. Radenovic, J. Brivio, V. Giacometti and A. Kis, Nat. Nanotech. 6, 147 (2011).

(비특허문헌 0003) K. S. Novoselov, D. Jiang, F. Schedin, T. J. Booth, V. V. Khotkevich, S. V. Morozov and A. K. Geim, Proc. Natl. Acad. Sci. USA 102, 10451 (2005).

(비특허문헌 0004) A. Splendiani, L. Sun, Y. Zhang, T. Li, J. Kim, C.-Y. Chim, G. Galli and F. Wang, Nano Lett. 10, 1271 (2010).

발명의 내용

해결하려는 과제

[0013] 본 발명은 간접 천이를 갖는 반도체 물질의 낮은 광반응성을 해결하기 위하여, 전이금속 칼코겐 화합물을 채널 영역의 물질로 사용하고, 국부적 게이트 전극과, 중첩하지 않는 채널 영역의 포토 컨덕터로 동작하는 비오버랩 영역을 통하여 광전도성을 증폭시키는 포토 컨덕터(photo conductor)와, 포토 트랜지스터가 결합된 구조의 포토 디바이스 및 그 제조 방법을 제공하고자 한다.

[0014] 또한, 본 발명은 포토 컨덕터와 포토 트랜지스터가 결합된 구조를 통하여 광이득 및 광반응성을 증폭 시킨 포토 다이오드 및 그 제조 방법을 제공하고자 한다,

[0015] 또한, 본 발명은 투명 물질의 게이트 전극, 소스 전극 및 드레인 전극과, 전이금속 칼코겐 화합물을 채널 영역으로 형성함으로써, 투명 전자 소자로서의 고투명성, 고이동도 및 고신뢰성을 제공하는 포토 디바이스 및 그 제조 방법을 제공하고자 한다.

과제의 해결 수단

- [0016] 본 발명의 광반응성 증폭 포토 디바이스는 국부적 게이트 전극, 소스전극, 드레인 전극, 및 상기 소스 전극 및 상기 드레인 전극 사이에 채널이 형성되도록 하고, 상기 게이트 전극과 중첩되지 않은 비오버랩 영역을 포함하는 채널 영역을 포함하며, 상기 비오버랩 영역은 광전도성을 증폭시키는 포토 컨덕터(photo conductor)로 동작한다.
- [0017] 상기 비오버랩 영역은 상기 소스 전극 및 드레인 전극의 양 측면 방향에 각각 형성되거나, 상기 소스 전극 및 드레인 전극 중 어느 한 측면 방향에 형성될 수 있다.
- [0018] 상기 채널 영역은 전이금속 칼코겐 화합물(Transition Metal Dichalcogenides)로 형성될 수 있다.
- [0019] 또한, 상기 전이금속 칼코겐 화합물은 이황화 몰리브덴(Molybdenum Disulfide, MoS_2), 이셀레니드 몰리브덴(Molybdenum Diselenide, MoSe_2), 이셀레니드 텅스텐(Tungsten Diselenide, WSe_2), 이텔루리드 몰리브덴(Molybdenum Ditetelluride, MoTe_2), 및 이셀레니드 주석(Tin Diselenide, SnSe_2) 중 적어도 어느 하나의 화합물일 수 있다.
- [0020] 상기 게이트 전극과, 상기 소스전극 및 드레인 전극은 금속 및 투명 전도성 물질 중 어느 하나의 물질로 이루어질 수 있고, 상기 투명 전도성 물질은 비정질 산화물, 결정질 산화물, 그래핀(graphene), 및 고분자 유기물 중 적어도 하나 이상의 물질일 수 있다.
- [0021] 본 발명의 실시예에 따른 광반응성 증폭 포토 디바이스는 기판 상에 형성된 국부적 하부 게이트 전극; 상기 국부적 하부 게이트 전극을 덮도록 상기 기판 상에 형성되는 게이트 절연층; 상기 게이트 절연층의 양측에 각각 형성된 소스 전극 및 드레인 전극; 및 상기 게이트 절연층 상에 형성되고, 상기 소스 전극 및 상기 드레인 전극 사이에 채널이 형성되도록 하며, 상기 국부적 하부 게이트 전극과 중첩되지 않은 비오버랩 영역을 포함하는 채널 영역을 포함한다.
- [0022] 상기 비오버랩 영역은 광전도성을 증폭시키는 포토 컨덕터(photo conductor)로 동작한다.
- [0023] 본 발명의 다른 실시예에 따른 광반응성 증폭 디바이스는 기판 상에 형성된 절연층; 상기 절연층 상에 형성되는 채널 영역; 상기 채널 영역 상에 게이트 절연층을 개재하여 형성된 국부적 상부 게이트 전극; 및 상기 절연층 상에 형성되고, 상기 채널 영역에 의해 연결되는 소스 전극 및 드레인 전극을 포함한다.
- [0024] 또한, 상기 채널 영역은 대응하는 상기 게이트 전극과 중첩되지 않은 비오버랩 영역을 포함하며, 상기 비오버랩 영역은 광전도성을 증폭시키는 포토 컨덕터로 동작한다.
- [0025] 실시예에 따른 광반응성 증폭 포토 디바이스의 제조 방법은 기판 상에 국부적 하부 게이트 전극을 형성하는 단계; 상기 국부적 하부 게이트 전극을 덮도록 상기 기판 상에 게이트 절연층을 형성하는 단계; 상기 게이트 절연층 상에 채널층을 형성하고, 상기 형성된 국부적 하부 게이트 전극과 중첩되지 않은 비오버랩 영역을 포함하도록 상기 형성된 채널층을 패터닝하여 채널 영역을 형성하는 단계; 및 상기 패터닝된 채널 영역 상에 전극 물질을 형성하고, 상기 전극 물질을 패터닝하여 소스 전극 및 드레인 전극을 형성하는 단계를 포함한다.
- [0026] 또한, 상기 채널 영역은 전이금속 칼코겐 화합물로 형성될 수 있다.
- [0027] 상기 전이금속 칼코겐 화합물은 이황화 몰리브덴(Molybdenum Disulfide, MoS_2), 이셀레니드 몰리브덴(Molybdenum Diselenide, MoSe_2), 이셀레니드 텅스텐(Tungsten Diselenide, WSe_2), 이텔루리드 몰리브덴(Molybdenum Ditetelluride, MoTe_2), 및 이셀레니드 주석(Tin Diselenide, SnSe_2) 중 적어도 어느 하나의 화합물일 수 있다.

발명의 효과

- [0028] 본 발명에 따르면, 간접 전이를 갖는 반도체 물질의 낮은 광반응성을 해결하기 위하여, 전이금속 칼코겐 화합물을 채널 영역의 물질로 사용하고, 국부적 게이트 전극과, 중첩하지 않는 채널 영역의 포토 컨덕터로 동작하는 비오버랩 영역을 통하여 광전도성을 증폭시키는 포토 컨덕터(photo conductor)와, 포토 트랜지스터가 결합된 구조의 포토 디바이스 및 그 제조 방법을 제공할 수 있다.
- [0029] 또한, 본 발명에 따르면 포토 컨덕터와 포토 트랜지스터가 결합된 구조의 포토 디바이스를 통하여 광이득 및 광

반응성을 증폭시킬 수 있다.

[0030] 또한, 본 발명에 따르면 투명 물질의 게이트 전극, 소스 전극 및 드레인 전극과, 전이금속 칼코겐 화합물을 채널 영역으로 형성함으로써, 투명 전자 소자로서의 고투명성, 고이동도 및 고신뢰성을 제공할 수 있다.

도면의 간단한 설명

[0031] 도 1은 본 발명의 실시예에 따른 광반응성 증폭 포토 디바이스를 도시한 것이고, 도 2는 본 발명의 실시예에 따른 광반응성 증폭 포토 디바이스의 회로 구성도를 도시한 것이다.

도 3은 본 발명의 다른 실시예에 따른 광반응성 증폭 포토 디바이스를 도시한 것이다.

도 4은 전이금속 칼코겐 화합물 중 이황화 몰리브덴(MoS₂)의 단층 구조를 도시한 것이다.

도 5는 서로 다른 두께를 가지는 MoS₂ 결정의 흡수 스펙트럼을 도시한 것이다.

도 6는 벌크 MoS₂의 밴드 구조를 나타낸 도면이다.

도 7은 직접 천이 밴드갭의 E-k 그래프를 도시한 것이고, 도 8은 간접 천이 밴드갭의 E-k 그래프를 도시한 것이다.

도 9는 본 발명의 실시예에 따른 광반응성 증폭 포토 디바이스의 포토 컨덕터로서의 특성을 도시한 그래프이다.

도 10는 본 발명의 실시예에 따른 광반응성 증폭 포토 디바이스의 전달 커브(transfer curve) 그래프를 도시한 것이고, 도 11은 광 반응성 특성에 대한 그래프를 도시한 것이다.

도 12 내지 도 16은 본 발명의 실시예에 따른 광반응성 증폭 포토 디바이스의 제조 방법을 도시한 단면도를 도시한 것이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0032] 이하 첨부 도면들 및 첨부 도면들에 기재된 내용들을 참조하여 본 발명의 실시예를 상세하게 설명하지만, 본 발명이 실시예에 의해 제한되거나 한정되는 것은 아니다.

[0033] 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.

[0034] 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.

[0035] 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.

[0036] 다른 정의가 없다면, 본 명세서에서 사용되는 모든 용어(기술 및 과학적 용어를 포함)는 본 발명이 속하는 기술 분야에서 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.

[0037] 한편, 본 발명을 설명함에 있어서, 관련된 공지 기능 또는 구성에 대한 구체적인 설명이 본 발명의 요지를 불필요하게 흐릴 수 있다고 판단되는 경우에는, 그 상세한 설명을 생략할 것이다. 그리고, 본 명세서에서 사용되는 용어(terminology)들은 본 발명의 실시예를 적절히 표현하기 위해 사용된 용어들로서, 이는 사용자, 운용자의 의도 또는 본 발명이 속하는 분야의 관례 등에 따라 달라질 수 있다. 따라서, 본 용어들에 대한 정의는 본 명

세서 전반에 걸친 내용을 토대로 내려져야 할 것이다.

- [0038] 도 1은 본 발명의 실시예에 따른 광반응성 증폭 포토 디바이스를 도시한 것이고, 도 2는 본 발명의 실시예에 따른 광반응성 증폭 포토 디바이스의 회로 구성도를 도시한 것이다.
- [0039] 본 발명의 광반응성 증폭 포토 디바이스는 게이트 전극, 소스전극, 드레인 전극, 및 상기 소스 전극 및 상기 드레인 전극 사이에 채널이 형성되도록 하고, 상기 게이트 전극과 중첩되지 않은 비오버랩 영역을 포함하는 채널 영역을 포함하며, 상기 비오버랩 영역은 광전도성을 증폭시키는 포토 컨덕터(photo conductor)로 동작한다.
- [0040] 실시예에 따라 상기 게이트 전극은 국부적 상부 게이트 구조 또는 국부적 하부 게이트 구조일 수 있다.
- [0041] <국부적 하부 게이트 구조를 포함하는 광반응성 증폭 포토 디바이스>
- [0042] 도 1을 참조하면, 도 1은 하부 게이트 구조를 갖는 포토 디바이스로서, 본 발명의 실시예에 따른 광반응성 증폭 포토 디바이스(100)는 기판(110) 상에 형성된 국부적 하부 게이트 전극(120), 국부적 하부 게이트 전극(120)을 덮도록 형성된 게이트 절연층(130), 게이트 절연층(130)의 양측에 각각 형성된 소스 전극(150S) 및 드레인 전극(150D) 및 게이트 절연층(130) 상에 형성되고, 소스 전극(150S) 및 드레인 전극(150D) 사이에 채널이 형성되도록 하는 채널 영역(140)을 포함한다.
- [0043] 국부적 하부 게이트 전극(120)은 기판(110) 상에 형성되고, 게이트 절연층(130)은 국부적 하부 게이트 전극(120)을 덮도록 기판(110) 상에 형성된다.
- [0044] 소스 전극(150S) 및 드레인 전극(150D)은 게이트 절연층(130)의 양측에 각각 형성된다.
- [0045] 국부적 하부 게이트 전극(120), 소스 전극(150S), 및 드레인 전극(150D)은 금속 및 투명 전도성 물질 중 어느 하나의 물질로 이루어질 수 있고, 상기 금속은 Au, Ti, Al, 및 Pd 중 어느 하나의 물질일 수 있으나, 이에 한정되지 않고, 본 발명이 속한 기술분야에서 사용가능한 금속 물질이면 바람직하다. 또한, 상기 투명 전도성 물질은 비정질 산화물, 결정질 산화물, 그래핀(graphene) 및 고분자 유기물 중 적어도 하나 이상의 물질일 수 있다.
- [0046] 실시예에 따라서는 국부적 하부 게이트 전극(120), 소스 전극(150S) 및 드레인 전극(150D)은 투명 전도성 물질로 이루어질 수 있고, 상기 투명 전도성 물질은 IZO(indium zinc oxide), ITO(indium thin oxide), 그래핀(graphene)일 수 있다.
- [0047] 채널 영역(140)은 게이트 절연층(130) 상에 형성되고, 소스 전극(150S) 및 드레인 전극(150D) 사이에 채널이 형성되도록 하며, 국부적 하부 게이트 전극(120)과 중첩되지 않은 비오버랩 영역(141)을 포함한다.
- [0048] 도 2에 도시된 바와 같이, 본 발명의 광반응성 증폭 포토 디바이스(100)의 비오버랩 영역(141)은 빛이 인가되지 않은 경우 게이트 전극에 바이어스(bias)가 인가되더라도 외부 직렬 저항과 같이 작용한다. 그러나, 비오버랩 영역(141)은 빛이 인가되는 경우에는 저항이 낮아지고 전도성이 증가하여 광전도성을 증폭시키는 포토 컨덕터(photo conductor)로 작용한다.
- [0049] 채널 영역(140)은 전이금속 칼코겐 화합물(Transition Metal Dichalcogenides)로 형성될 수 있고, 전이금속 칼코겐 화합물은 단층 또는 다층일 수 있다.
- [0050] 이차원 물질은 일차원 물질과 비교했을 때 복잡한 구조를 제조하기가 상대적으로 쉬어 차세대 나노전자소자의 물질로 이용하기에 적합하다. 이러한 2차원 물질 중 2차원 전이금속 칼코겐화합물(2D Transition Metal Dichalcogenides)은 이황화 몰리브덴(Molybdenum Disulfide, MoS_2), 이셀레니드 몰리브덴(Molybdenum Diselenide, MoSe_2), 이셀레니드 텅스텐(Tungsten Diselenide, WSe_2), 이텔루리드 몰리브덴(Molybdenum Ditelluride, MoTe_2), 및 이셀레니드 주석(Tin Diselenide, SnSe_2) 중 적어도 어느 하나일 수 있다.
- [0051] 도 1의 본 발명의 실시예에 따른 광반응성 증폭 포토 디바이스(100)의 비오버랩 영역(141)은 소스 전극(150D) 및 드레인 전극(150D)의 양 측면 방향에 각각 형성된 것으로 도시되었으나, 이에 한정되지 않고, 광반응성 증폭 포토 디바이스(100)의 비오버랩 영역(141)은 소스 전극(150D) 및 드레인 전극(150D) 중 어느 한 측면 방향에 형성될 수도 있다.

- [0052] <국부적 상부 게이트 구조를 포함하는 광반응성 증폭 포토 디바이스>
- [0053] 도 3은 본 발명의 다른 실시예에 따른 광반응성 증폭 포토 디바이스를 도시한 것이다.
- [0054] 도 3을 참조하면, 본 발명의 다른 실시예에 따른 광반응성 증폭 포토 디바이스(200)는 기판(210) 상에 형성된 절연층(260), 절연층(260) 상에 형성되는 채널 영역(240), 채널 영역(240) 상에 게이트 절연층(230)을 개재하여 형성된 국부적 상부 게이트 전극(220), 및 절연층(260) 상에 형성되고 채널 영역(240)에 의해 연결되는 소스 전극(250S) 및 드레인 전극(250D)을 포함한다.
- [0055] 소스 전극(250S) 및 드레인 전극(250D)은 게이트 절연층(130)의 양측에 각각 형성될 수 있다.
- [0056] 국부적 상부 게이트 전극(220), 소스 전극(250S) 및 드레인 전극(250D)은 금속 및 투명 전도성 물질 중 어느 하나의 물질로 이루어질 수 있고, 상기 금속은 Au, Ti, Al, 및 Pd 중 어느 하나의 물질일 수 있으나, 이에 한정되지 않고, 본 발명이 속한 기술분야에서 사용가능한 금속 물질이면 바람직하다. 또한, 상기 투명 전도성 물질은 비정질 산화물, 결정질 산화물, 그래핀(graphene) 및 고분자 유기물 중 적어도 하나 이상의 물질일 수 있다.
- [0057] 실시예에 따라서는 국부적 상부 게이트 전극(220), 소스 전극(250S) 및 드레인 전극(250D)은 투명 전도성 물질로 이루어질 수 있고, 상기 투명 전도성 물질은 IZO(indium zinc oxide), ITO(indium thin oxide), 그래핀(graphene)일 수 있다.
- [0058] 채널 영역(240)은 대응하는 게이트 전극(220)과 중첩되지 않은 비오버랩 영역(241) 영역을 포함한다. 또한, 전술한 도 2에 도시된 바와 같이 비오버랩 영역(241)은 광전도성을 증폭시키는 포토 컨덕터로 동작한다.
- [0059] 또한, 채널 영역(240)은 전술한 바 있는 단층 또는 다층의 전이금속 칼코겐 화합물로 형성될 수 있고, 상기 전이금속 칼코겐 화합물은 이황화 몰리브덴(Molybdenum Disulfide, MoS_2), 이셀레니드 몰리브덴(Molybdenum Diselenide, MoSe_2), 이셀레니드 텅스텐(Tungsten Diselenide, WSe_2), 이텔루리드 몰리브덴(Molybdenum Ditetelluride, MoTe_2), 및 이셀레니드 주석(Tin Diselenide, SnSe_2) 중 적어도 어느 하나의 화합물일 수 있다.
- [0060] 도 3의 본 발명의 다른 실시예에 따른 광반응성 증폭 포토 디바이스(200)의 비오버랩 영역(241)은 소스 전극(250D) 및 드레인 전극(250D)의 양 측면 방향에 각각 형성된 것으로 도시되었으나, 이에 한정되지 않고, 광반응성 증폭 포토 디바이스(200)의 비오버랩 영역(241)은 소스 전극(250D) 및 드레인 전극(250D) 중 어느 한 측면 방향에 형성될 수도 있다.
- [0061] 이하에서는 도 4 내지 도 8을 참조하여, 단층 전이금속 칼코겐화합물과 다층 전이금속 칼코겐 화합물과의 차이점을 설명하기로 한다.
- [0062] 도 4는 전이금속 칼코겐 화합물 중 이황화 몰리브덴(MoS_2)의 단층 구조를 도시한 것이고, 도 5는 서로 다른 두께를 가지는 MoS_2 결정의 흡수 스펙트럼을 도시한 것이며, 도 6는 벌크 MoS_2 의 밴드 구조를 나타낸 도면이고, 도 7은 직접 천이 밴드갭의 E-k 그래프를 도시한 것이고, 도 8은 간접 천이 밴드갭의 E-k 그래프를 도시한 것이다.
- [0063] 도 4를 참조하면, 도 3에 도시된 바와 같이 단층 MoS_2 결정은 수직적으로 쌓여있는 구조이고 단층(single layer)의 두께는 $6.5\text{\AA}$ 으로 반데르발스(van der Waals) 상호작용으로부터 층을 형성하고 있다.
- [0064] 단층 MoS_2 는 1.8eV 의 고유 밴드갭을 가지고 있지만 이동성(mobility)은 $0.5 \sim 3\text{cm}^2\text{V}^{-1}\text{s}^{-1}$ 로 매우 낮은 수준이다. 또한, 그래핀이나 박막 실리콘의 이동성 수치와 비교할 경우에 밴드갭이 증가하면 이동성이 감소하는 경향이 있다.
- [0065] 도 5를 참조하면, T1, T2 및 T3는 MoS_2 결정의 두께를 나타내며, 두께는 $T1 > T2 > T3$ 순으로서 T1은 약 40nm , T2는 약 4nm , T3는 약 1nm 이다. 도 5에 도시된 바와 같이 단층 MoS_2 는 약 700nm 아래의 파장을 흡수할 수 있다.
- [0066] 도 6를 참조하면, 도 6에 도시된 흡수 최고점 'A', 'B'는 가전자 밴드(valance band) 스핀-궤도 결합으로부터

에너지 분리된 직접 천이 밴드갭에 상응하는 것을 도시한 것이고, 꼬리 'I'는 간접 천이 밴드갭에 상응하는 것을 도시한 것이다.

[0067] 한편, 도 7을 참조하면, 직접 천이 밴드갭은 가전자대의 에너지 $E_v(k)$ 가 전도대의 에너지 $E_c(k)$ 와 같은 파수 k 로 발생하는 경우를 도시한 것이고, 도 8은 위의 두 에너지가 다른 파수 값에서 생기는 간접천이 밴드갭을 도시한 것이다.

[0068] 도 7의 직접 천이 밴드갭의 경우에는 광 방사 에너지($h\nu$)에 의해 가전자가 전도대에 직접 천이하지만, 도 8의 간접 천이 밴드갭의 경우에는 전도대에 간접 천이하며 그때 에너지 E_{ph} 의 포논(phonon)을 발생한다.

[0069] 직접 천이 밴드갭에서의 광 방사 에너지 $h\nu=E_g$ 인 반면, 간접 천이 밴드갭에서의 광 방사 에너지 $h\nu = E_g + E_{ph}$ 이다. 이와 같이 간접 천이 밴드갭에서는 E_{ph} 가 발생됨으로써, 직접 천이 밴드갭에서의 에너지 갭이 1.8eV(단층 MoS_2)에서 1.35eV(다층 MoS_2)로 낮아지게 된다.

[0070] 에너지 갭이 1.8eV에서 1.35eV로 낮아지는 경우에는 다음의 수학적 식 1에 의해 파장 값이 변하게 된다.

[수학적 식 1]

$$\lambda = \frac{1.24}{E_g}$$

[0072]

[0073] 에너지 갭이 1.8eV인 경우보다 1.35eV인 경우, 즉 스몰 밴드갭(small bandgap)인 경우에 파장(λ)값이 커지며, 이는 단층 MoS_2 를 사용하는 경우보다 다층 MoS_2 를 사용하는 경우 더 넓은 범위의 파장을 흡수할 수 있음을 도 4의 T1, T2, T3 그래프를 통해 확인할 수 있다.

[0074] 다시 말해, 단층 MoS_2 의 경우에는 일반적으로 700 nm 아래의 파장을 흡수할 수 있으나, 본 발명에 따른 다층 MoS_2 의 경우에는 1000 nm 아래의 모든 파장을 흡수할 수 있다. 이는 근적외선(near IR)에서부터 자외선(ultra violet)까지의 파장대를 감지할 수 있음을 의미한다.

[0075] 다시 도 1을 참조하면, 채널 영역(140)은 디바이스의 특성에 따라 전술한 바 있는 단층 또는 다층의 전이금속 칼코겐 화합물로 형성될 수 있고, 상기 전이금속 칼코겐 화합물은 이황화 몰리브덴(Molybdenum Disulfide, MoS_2), 이셀레니드 몰리브덴(Molybdenum Diselenide, $MoSe_2$), 이셀레니드 텅스텐(Tungsten Diselenide, WSe_2), 이텔루리드 몰리브덴(Molybdenum Ditetelluride, $MoTe_2$), 및 이셀레니드 주석(Tin Diselenide, $SnSe_2$) 중 적어도 어느 하나의 화합물일 수 있다.

[0076] 또한, 본 발명의 광반응성 증폭 포토 디바이스(100)에서는 다층 전이금속 칼코겐화합물은 3층 이상인 것이 바람직하다.

[0077] 도 9는 본 발명의 실시예에 따른 광반응성 증폭 포토 디바이스의 포토 컨덕터로서의 특성을 도시한 그래프이다. 도 9의 (a)는 녹색광(532nm)가 조사되는 경우의 특성 그래프이고, 도 9의 (b)는 적색광(638nm)이 조사되는 경우의 특성 그래프이다.

[0078] 도 9를 참조하면, 본 발명의 실시예에 따른 광반응성 증폭 포토 디바이스는 빛이 조사되는 경우, 빛이 조사되지 않는 경우와 대비하여 저항이 낮아지고 전도성이 증가하는 경향을 보인다. 또한, 조사되는 빛의 파장이 클수록 드레인 전류의 크기가 커진다.

[0079] 도 10는 본 발명의 실시예에 따른 광반응성 증폭 포토 디바이스의 전달 커브(transfer curve) 그래프를 도시한 것이고, 도 11은 광 반응성 특성에 대한 그래프를 도시한 것이다.

- [0080] 도 10 및 도 11을 참조하면, 이는 빛이 인가되었을 때 전자-정공 쌍(electron-hole pair)이 국부적 게이트 전극과 증착하는 채널 영역뿐만 아니라, 포토 컨덕터로 작용하는 채널 영역의 비오버랩 영역에도 생성이 되어, 채널 전체의 전도성이 증폭되고, 포토 트랜지스터의 오프-전류(off-current) 뿐만 아니라, 온-전류(on-current)도 크게 증가함을 확인할 수 있다.
- [0081] 도 10 및 도 11에 도시된 바와 같이 본 발명의 국부적 게이트 전극 구조를 포함하는 광반응성 증폭 포토 디바이스는 국부적 게이트 전극이 아닌 공통 게이트 전극 구조(common gated structure)를 갖는 종래 기술(Woong Choi, et.al, Advanced Materials 24, 5382-5836(2012))의 광반응성인 100mAW-1 이하 보다 약 100 내지 1000배의 광 반응성이 증폭되는 효과를 보인다.
- [0082] 도 9 내지 도 11에 도시된 바와 같이 본 발명의 광반응성 증폭 포토 디바이스는 국부적 게이트 전극을 형성하여 포토 컨덕터와 포토 트랜지스터가 결합된 구조를 통하여 광이득 및 광반응성을 증폭시킬 수 있다.
- [0083] 도 12 내지 도 16는 도 1의 본 발명의 실시예에 따른 광반응성 증폭 포토 디바이스의 제조 방법을 도시한 단면도를 도시한 것이다.
- [0084] 도 12를 참조하면, 기판(110) 상에 국부적 하부 게이트 전극(120)을 형성한다.
- [0085] 기판(110)은 본 발명의 기술 분야에서 일반적으로 사용되고 있는 것들이 사용되며, 예를 들면, 유리, 실리콘 웨이퍼, 플라스틱 등이 사용될 수 있지만, 이것으로 한정되는 것은 아니고, 광반응성 증폭 포토 디바이스의 활용 분야에 따라 다양한 물질이 사용될 수 있다.
- [0086] 실시예에 따라, 국부적 하부 게이트 전극(120)은 본 발명의 기술 분야에서 통상적으로 사용되는 방법, 예를 들며, E-빔 법을 통해 포토 마스크를 이용하여 형성될 수 있다.
- [0087] 국부적 하부 게이트 전극(120)은 전극을 기판(110) 상에 형성하고, 그 위에 전극의 일부 표면을 노출시키는 마스크 패턴(미도시)을 형성한 이후, 상기 마스크 패턴을 식각 마스크로 한 식각 공정으로 상기 전극의 노출 부분을 제거할 수 있다. 국부적 하부 게이트 전극(120)을 형성한 후에는 마스크 패턴을 제거한다.
- [0088] 도 13를 참조하면, 국부적 하부 게이트 전극(120)을 덮도록 기판(110) 상에 게이트 절연층(130)을 형성한다.
- [0089] 게이트 절연층(130)은 국부적 하부 게이트 전극(120) 위에 습식 공정을 통해 형성될 수 있고, 게이트 절연층 조성물을 스핀코팅, 딥핑 또는 프린팅을 통하여 도포하고, 이어서 베이킹하여 게이트 절연층(130)을 형성할 수 있다. 또한, 실시예에 따라서는 게이트 절연층(130)은 리소그래피 공정을 이용하여 패턴화할 수 있다.
- [0090] 게이트 절연층(130)은 실리콘산화막, 실리콘질화막을 포함하는 무기물 박막, 또는 고분자를 이용한 박막으로 형성할 수도 있다.
- [0091] 이후, 게이트 절연층(130) 위에 채널 영역(140)을 형성한다. (sputter) 등의 종래의 일반적인 증착방식을 이용하여 증착되므로 대면적 증착이상기 채널 영역(140)은 단층 또는 다층의 전이금속 칼코겐 화합물로 형성될 수 있고, 상기 단층 또는 다층의 전이금속 칼코겐 화합물은 이황화 몰리브덴(MoS_2), 이셀레니드 몰리브덴(MoSe_2), 이셀레니드 텅스텐(WSe_2), 이텔루리드 몰리브덴(MoTe_2), 및 이셀레니드 주석(SnSe_2) 중 적어도 어느 하나의 화합물일 수 있다.
- [0092] 단층 또는 다층의 전이금속 칼코겐화합물로 구성되는 채널 영역(140)은 화학기상증착(CVD), PE-CVD, 원자층 증착(ALD), 또는 스퍼터 방식 중 어느 하나의 방법으로 일반적인 증착 방식을 이용하여 증착가능하고, 대면적 증착이 용이하다.
- [0093] 도 14를 참조하면, 보호막 패턴(미도시)을 식각 마스크로 하여 채널 영역(140)에 대한 식각 공정을 수행하여 채널 영역(140)에 대한 패턴을 형성한다. 채널 영역(140)은 게이트 절연층(130) 상에 형성되고, 소스 전극 및 드레인 전극 사이에 채널이 형성되도록 한다.
- [0094] 도 15를 참조하면, 게이트 절연층(130)의 양측에 각각 소스 전극 및 드레인 전극을 형성하기 위한 투명 전도성 물질을 채널 영역(140) 위로 기판(110) 상에 형성한다. 상기 투명 전도성 물질은 비정질 산화물, 결정질 산화물, 그래핀(grapheme), 및 고분자 유기물 중 적어도 하나 이상의 물질일 수 있고, 실시예에 따라서는 상기 투명

전도성 물질은 IZO(indium zinc oxide), ITO(indium thin oxide), 그래핀(graphene)일 수 있다.

[0095] 소스 전극(150S) 및 드레인 전극(150D)은 채널 영역(140) 위로 기판(110) 상에 본 발명의 기술 분야에서 알려진 방법을 통해 형성되며, 바람직하게는 포토 마스크를 이용한 E-빔 법을 이용하여 형성될 수 있다.

[0096] 도 16를 참조하면, 채널 영역(140)이 소스 전극(150S) 및 드레인 전극(150D) 사이에 채널이 형성되도록 하고, 국부적 하부 게이트 전극(120)과 중첩되지 않은 비오버랩 영역을 포함하도록 전극(150) 위에 마스크 패턴(미도시)을 식각 마스크로 하는 식각 공정을 통하여 패턴을 형성한다.

[0097] 실시예에 따라 상기 비오버랩 영역은 소스 전극(150S) 및 드레인 전극(150D)의 양 측면 방향에 각각 형성될 수 있고, 소스 전극(150S) 및 드레인 전극(150D) 중 어느 한 측면 방향에 형성될 수도 있다.

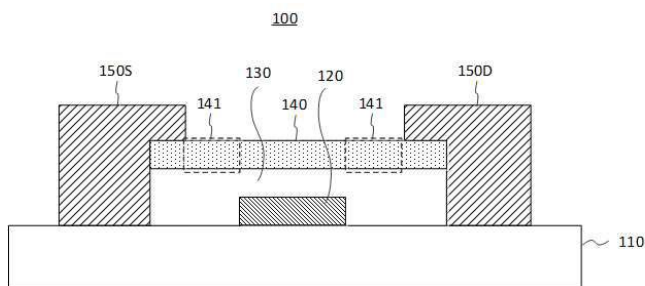
[0098] 이상과 같이 실시예들이 비록 한정된 실시예와 도면에 의해 설명되었으나, 해당 기술분야에서 통상의 지식을 가진 자라면 상기의 기재로부터 다양한 수정 및 변형이 가능하다. 예를 들어, 설명된 기술들이 설명된 방법과 다른 순서로 수행되거나, 및/또는 설명된 시스템, 구조, 장치, 회로 등의 구성요소들이 설명된 방법과 다른 형태로 결합 또는 조합되거나, 다른 구성요소 또는 균등물에 의하여 대치되거나 치환되더라도 적절한 결과가 달성될 수 있다.

[0099]

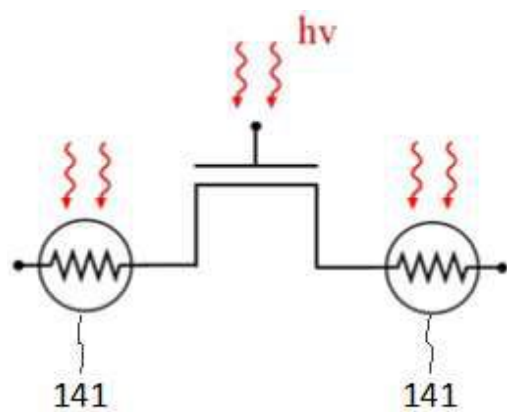
[0100] 그러므로, 다른 구현들, 다른 실시예들 및 특허청구범위와 균등한 것들도 후술하는 특허청구범위의 범위에 속한다.

도면

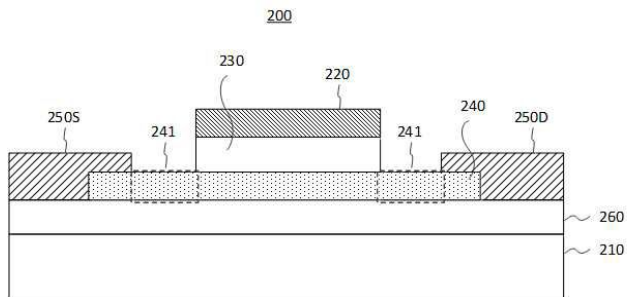
도면1



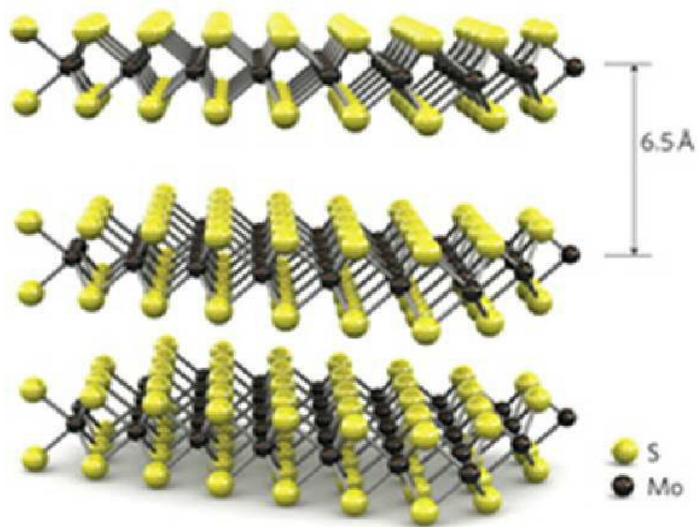
도면2



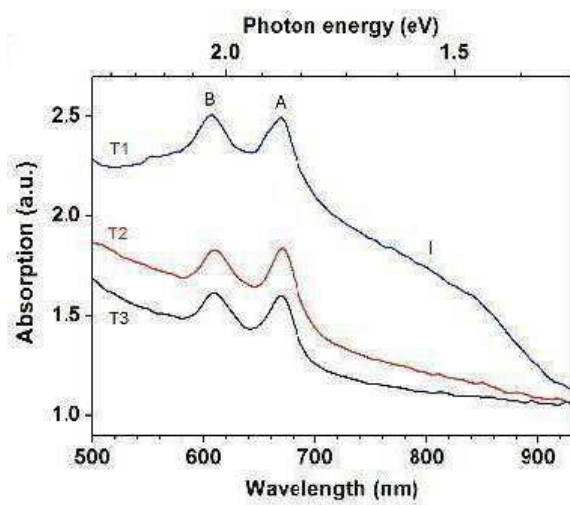
도면3



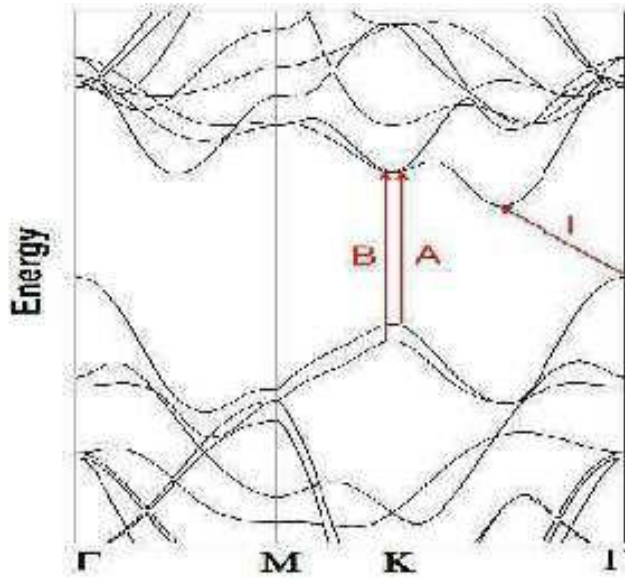
도면4



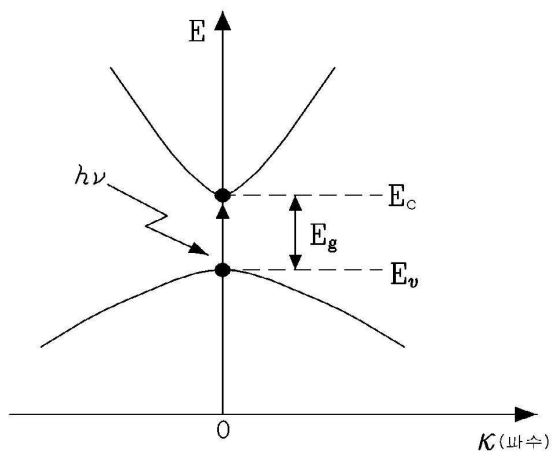
도면5



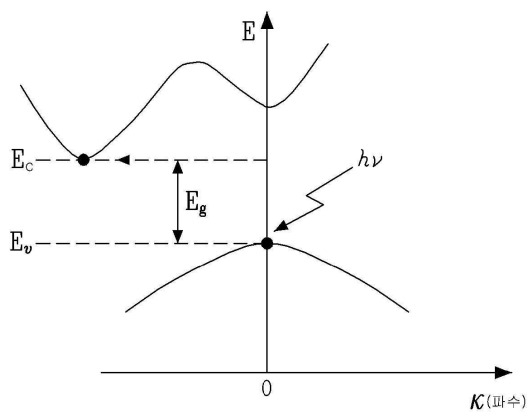
도면6



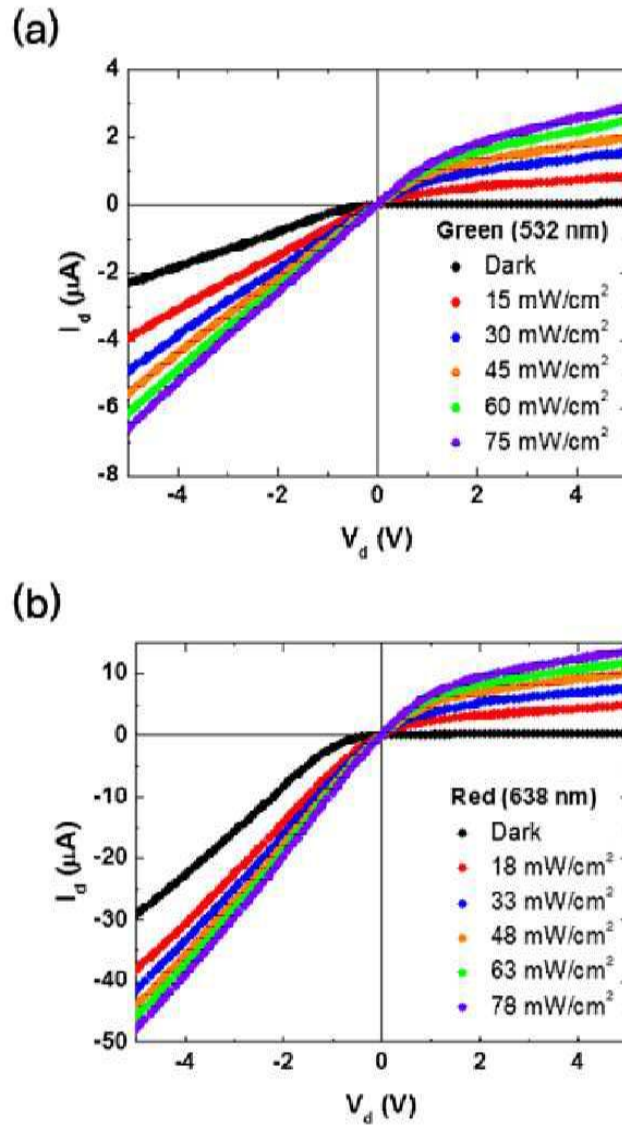
도면7



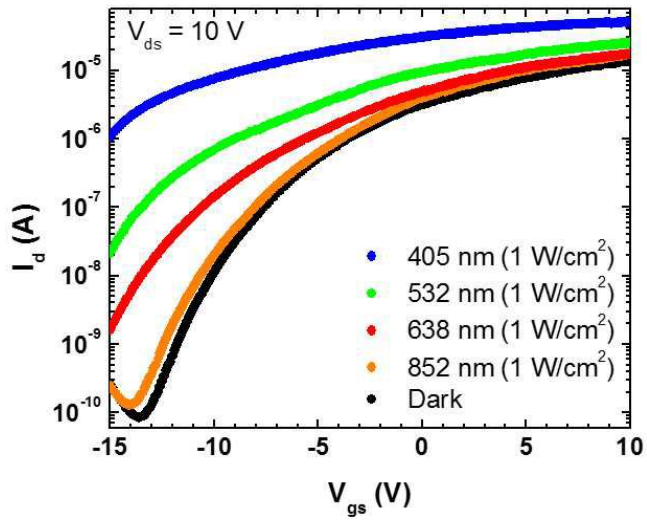
도면8



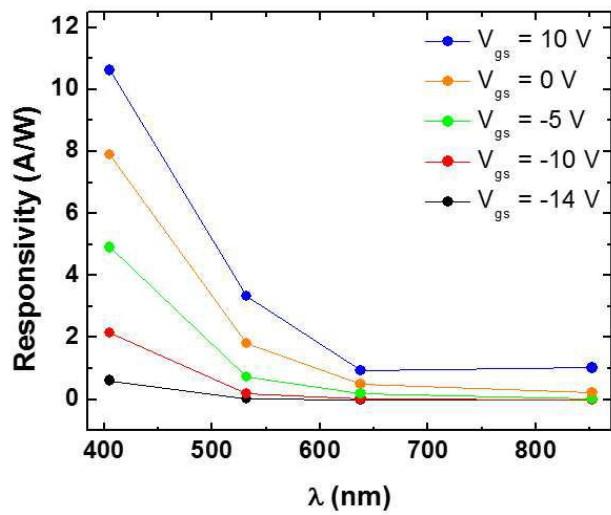
도면9



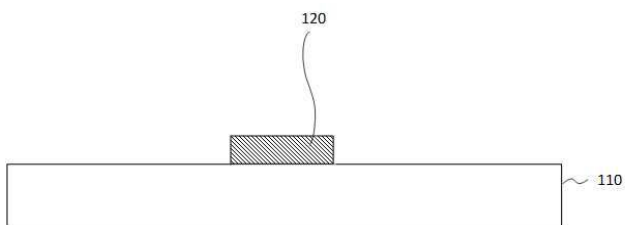
도면10



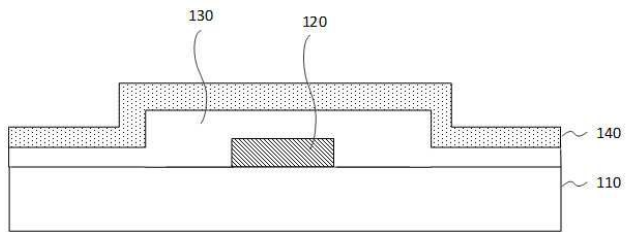
도면11



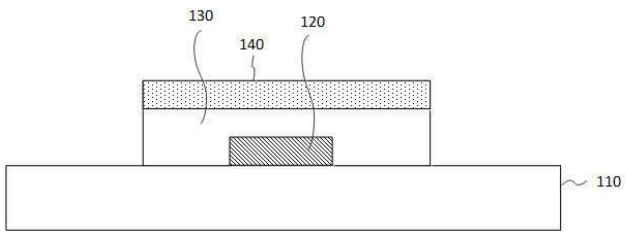
도면12



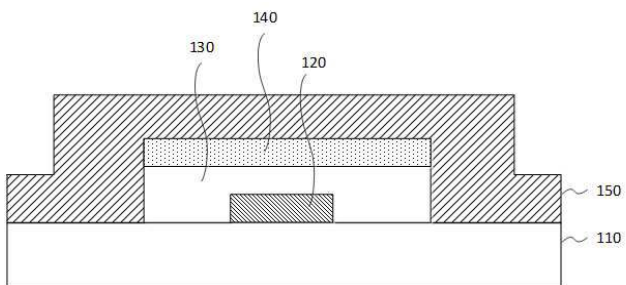
도면13



도면14



도면15



도면16

