



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2016년10월07일
(11) 등록번호 10-1663140
(24) 등록일자 2016년09월29일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
H01L 31/101 (2006.01) H01L 31/0216 (2014.01)
H01L 31/0352 (2006.01) H01L 31/10 (2006.01)
H01L 31/18 (2006.01)

(52) CPC특허분류
H01L 31/1016 (2013.01)
H01L 31/0216 (2013.01)

(21) 출원번호 10-2015-0087648

(22) 출원일자 2015년06월19일

심사청구일자 2015년06월19일

(56) 선행기술조사문헌

Zingway Pei et al., "High-Responsivity and High-Sensitivity Graphene Dots/a-IGZO Thin-Film Phototransistor", IEEE Electron Device Lett., Vol.36, No.1, pp.44-46*

Xiang Liu et al., "Photo-modulated thin film transistor based on dynamic charge transfer within quantum-dots-InGaZnO interface", App. Phys. Lett., Vol.104, 113501*

Gerasimos Konstantatos et al., "Hybrid graphene-quantum dot phototransistors with ultrahigh gain", Nature nanotechnology, Vol.7, pp.363-368*

US20130049738 A1

*는 심사관에 의하여 인용된 문헌

(73) 특허권자

경희대학교 산학협력단

경기도 용인시 기흥구 덕영대로 1732 (서천동, 경희대학교 국제캠퍼스내)

(72) 발명자

강성준

서울특별시 서초구 반포대로 275 106동 2604호 (반포동, 래미안퍼스티지아파트)

(74) 대리인

김홍석, 김동용

전체 청구항 수 : 총 7 항

심사관 : 방기인

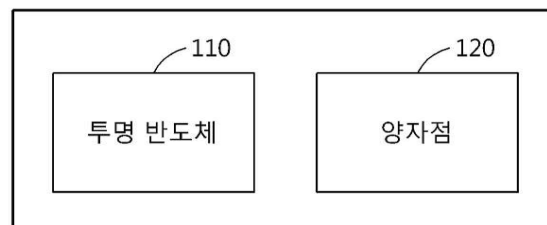
(54) 발명의 명칭 양자점을 이용하는 고투명 가시광 센서 및 형성 방법

(57) 요약

본 발명은 스마트 전자소자를 위한 고투명 가시광 센서 및 형성 방법에 관한 것으로서, 일실시예에 따른 고투명 가시광 센서는 밴드갭이 제1 임계값 이상이고, 가시광선을 미리 지정된 비율 이상 투과시키는 투명 반도체, 및 상기 투명 반도체의 일측에 형성되고, 밴드갭이 제2 임계값 이하인 양자점을 포함하고, 상기 양자점은 상기 가시광선을 흡수하여 전기신호로 변환한다.

대표도 - 도1

100



(52) CPC특허분류

H01L 31/035218 (2013.01)

H01L 31/10 (2013.01)

H01L 31/18 (2013.01)

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호 CASE-2014M3A6A5060946

부처명 미래창조과학부

연구관리전문기관 한국연구재단

연구사업명 글로벌프론티어사업

연구과제명 저차원 소재 기반 소프트 플라즈모닉 전자소자 기술 개발

기 여 율 1/2

주관기관 경희대학교

연구기간 2013.09.01 ~ 2016.08.31

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호 NRF-2013R1A1A1A05007934

부처명 미래창조과학부

연구관리전문기관 한국연구재단

연구사업명 일반연구자지원사업

연구과제명 탄소 나노 융합소재 기반 소프트 광전소자 기술 개발

기 여 율 1/2

주관기관 경희대학교

연구기간 2013.03.01 ~ 2016.05.31

공지예외적용 : 있음

명세서

청구범위

청구항 1

밴드갭이 제1 임계값 이상이고, 가시광선을 미리 지정된 비율 이상 투과시키는 투명 반도체; 및
 상기 투명 반도체의 일측에 형성되고, 밴드갭이 제2 임계값 이하인 양자점을 포함하고,
 상기 양자점은 상기 가시광선을 흡수하여 전기신호로 변환하며,
 상기 양자점은 기판과 투명반도체 소재 사이의 액티브 채널에 형성되고, 상기 투명반도체와 게이트 절연막에서 20nm이내의 상기 액티브 채널 영역에 분포하는 전하 수송층이고,
 상기 투명 반도체는 그래핀(Graphene) 및 이황화몰리브덴(MoS_2) 중에서 적어도 하나를 포함하는 2차원 나노소재를 포함하고,
 상기 양자점은 콜로이드 카드뮴 셀레나이드(Colloidal cadmium selenide, CdSe)를 포함하는 것을 특징으로 하는 고투명 가시광 센서.

청구항 2

제1항에 있어서,
 상기 투명 반도체는,
 상기 변환된 전기신호의 전하 수송층인 고투명 가시광 센서.

청구항 3

제1항에 있어서,
 상기 양자점은 밴드갭 또는 크기 중에서 적어도 하나를 활용하여 상기 가시광선의 풀컬러(full color)를 전기신호로 각각 변환 시키는 전하 수송층인 고투명 가시광 센서.

청구항 4

삭제

청구항 5

삭제

청구항 6

삭제

청구항 7

제1항에 있어서,
 상기 투명 반도체는, 산화물 반도체 소재를 포함하는 고투명 가시광 센서.

청구항 8

제7항에 있어서,
 상기 양자점은 상기 산화물 반도체 소재의 표면에 형성되는 고투명 가시광 센서.

청구항 9

제7항에 있어서,

상기 양자점은 상기 산화물 반도체 소재의 아래에 형성되는 고투명 가시광 센서.

청구항 10

삭제

청구항 11

삭제

청구항 12

삭제

청구항 13

삭제

청구항 14

기관상에 양자점을 코팅하는 단계;

상기 코팅된 양자점 상에 산화물 반도체 소재를 증착하는 단계; 및

상기 증착된 산화물 반도체 소재 상에 알루미늄의 소스 및 드레인 전극을 형성하는 단계를 포함하며

상기 양자점은 기관과 투명반도체 소재 사이의 액티브 채널에 형성되고, 상기 투명반도체와 게이트 절연막에서 20nm이내의 상기 액티브 채널 영역에 분포하는 전하 수송층이고,

상기 투명 반도체는 그래핀(Graphene) 및 이황화몰리브덴(MoS_2) 중에서 적어도 하나를 포함하는 2차원 나노소재를 포함하고,

상기 양자점은 콜로이드 카드뮴 셀레나이드(Colloidal cadmium selenide, CdSe)를 포함하는 것을 특징으로 하는 투명 광 트랜지스터 형성 방법.

발명의 설명

기술 분야

[0001] 밴드갭이 큰 투명 반도체 소재와, 가시광을 흡수할 양자점 소재의 융합으로 새로운 개념의 투명 가시광선 센서를 제공하는 기술에 연관된다.

배경 기술

[0002] 최근 투명 및 유연 전자소자가 각광받음에 따라, 이를 활용한 다양한 웨어러블 스마트 전자소자 개발이 활발하게 이루어지고 있으며, 특히, 다양한 파장대의 빛을 흡수하여 전기신호로 변환하는 광센서가 개발되고 있다. 기존의 광센서는 밴드갭이 작은 실리콘을 활용하였기 때문에, 불투명한 특성이 있다.

[0003] 한편, 근래에는 투명전자소자의 중요성이 대두되고 있어, 투명 광센서 개발이 요구된다. 그러나 이러한 요구에도 불구하고, 투명한 반도체 소재는 밴드갭이 커서 가시광선을 흡수할 수 없는 한계가 있다.

[0004] 또한, 광 센서로 주로 사용되는 실리콘의 경우 밴드갭이 고정되어 있어, 흡수하는 빛의 파장을 구별하기 위해서는 아래 그림과 같이 추가적인 컬러 필터가 필요하고, 작은 밴드갭으로 인하여 투명한 광센서를 제작하기 어려운 문제가 있다.

선행기술문헌

특허문헌

[0005] (특허문헌 0001) 대한민국 특허등록공보 제10-1428913호

발명의 내용

해결하려는 과제

[0006] 밴드갭이 작고, 제어가 가능한 양자점 소재를 광흡수 소재로 활용하는 기술이 제시된다.

[0007] 밴드갭이 큰 투명 반도체 소재와, 가시광을 흡수할 양자점 소재의 융합으로 새로운 개념의 투명 가시광선 센서가 제시된다.

과제의 해결 수단

[0008] 일실시예에 따른 고투명 가시광 센서는 밴드갭이 제1 임계값 이상이고, 가시광선을 미리 지정된 비율 이상 투과시키는 투명 반도체, 및 상기 투명 반도체의 일측에 형성되고, 밴드갭이 제2 임계값 이하인 양자점을 포함하고, 상기 양자점은 상기 가시광선을 흡수하여 전기신호로 변환한다.

[0009] 일실시예에 따른 상기 투명 반도체는, 상기 변환된 전기신호의 전하 수송층을 포함한다.

[0010] 일실시예에 따른 상기 양자점은 밴드갭 또는 크기 중에서 적어도 하나를 활용하여 상기 가시광선의 풀컬러(full color)를 전기신호로 각각 변환시키는 전하 수송층을 포함한다.

[0011] 일실시예에 따른 상기 양자점은 광트랜지스터의 액티브 채널 영역에 분포하는 전하 수송층을 포함한다.

[0012] 일실시예에 따른 상기 양자점은 상기 투명 반도체와 게이트 인슐레이터 사이의 인터페이스에 위치하는 상기 액티브 채널 영역에 분포하는 전하 수송층을 포함한다.

[0013] 일실시예에 따른 상기 양자점은 상기 투명 반도체와 상기 게이트 인슐레이터에서 20 nm이내의 상기 액티브 채널 영역에 분포하는 전하 수송층을 포함한다.

[0014] 일실시예에 따른 상기 투명 반도체는, 산화물 반도체 소재를 포함한다.

[0015] 일실시예에 따른 상기 양자점은 상기 산화물 반도체 소재의 표면에 형성된다.

[0016] 일실시예에 따른 상기 양자점은 상기 산화물 반도체 소재의 아래에 형성된다.

[0017] 일실시예에 따른 상기 투명 반도체는 그래핀(Graphene) 및 이황화몰리브덴(MoS₂) 중에서 적어도 하나를 포함하는 2차원 나노소재를 포함한다.

[0018] 일실시예에 따른 투명 광 트랜지스터 형성 방법은 기판상에 산화물 반도체 소재를 증착하는 단계, 상기 증착된 산화물 반도체 소재 상에 알루미늄의 소스 및 드레인 전극을 형성하는 단계, 및 산화물 반도체 소재의 표면 중 상기 소스 및 드레인 전극에 의해 형성되는 액티브 채널 상에 양자점을 코팅하는 단계를 포함한다.

[0019] 일실시예에 따른 상기 산화물 반도체 소재는 IGZO를 포함한다.

[0020] 일실시예에 따른 상기 양자점을 코팅하는 단계는, 상기 액티브 채널 상에 상기 양자점을 스핀 코팅하는 단계를 포함한다.

[0021] 일실시예에 따른 투명 광 트랜지스터 형성 방법은 기판상에 양자점을 코팅하는 단계, 상기 코팅된 양자점 상에 산화물 반도체 소재를 증착하는 단계, 및 상기 증착된 산화물 반도체 소재 상에 알루미늄의 소스 및 드레인 전극을 형성하는 단계를 포함한다.

발명의 효과

[0022] 실시예들에 따르면, 밴드갭이 작고, 제어가 가능한 양자점 소재를 광흡수 소재로 활용할 수 있다.

[0023] 실시예들에 따르면, 밴드갭이 큰 투명 반도체 소재와, 가시광을 흡수할 양자점 소재의 융합으로 새로운 개념의 투명 가시광선 센서를 개발할 수 있다.

도면의 간단한 설명

- [0024] 도 1은 일실시예에 따른 고투명 가시광 센서를 설명하는 도면이다.
- 도 2a는 와이드 밴드 갭 산화물 TFT의 장치 특성을 나타낸다.
- 도 2b는 405nm 레이저 노출 유무에 따른 IGZO TFT들의 전달 곡선을 나타낸다.
- 도 2c는 635nm 레이저 노출 유무에 따른 IGZO TFT들의 전달 곡선을 나타낸다.
- 도 2d는 IGZO 활성층의 두께 변화에 따라 서로 다른 레이저 파장을 나타내는 도면이다.
- 도 3a는 IGZO의 표면에 양자점을 증착하는 고투명 가시광 센서를 나타내는 도면이다.
- 도 3b는 균일하게 소스 및 드레인 전극 사이의 IGZO 채널 영역에 분포된 양자점의 SEM(Scanning Electron Microscope) 이미지를 나타낸다.
- 도 3c는 785nm의 광원이 광자 에너지가 양자점의 밴드 갭보다 작은 경우에 대해 광전류를 유도하지 않았음을 나타내는 도면이다.
- 도 4a는 양자점이 IGZO와의 SiO₂ 사이의 인터페이스에 삽입된 형태를 설명하는 도면이다.
- 도 4b는 균일하게 코팅 된 양자점 명확 계면에서 관찰 장치의 단면을 나타내는 TEM(Transmission Electron Microscopy) 이미지를 도시한다.
- 도 4c는 가시광의 노광 장치와 광전류의 근원을 설명하는 도면이다.
- 도 5a는 양자점이 IGZO와의 SiO₂의 계면에 삽입되는 시간 의존적 광 응답($\lambda = 635, 785 \text{ nm}$)을 갖는 고투명 가시광 센서를 설명하는 도면이다..
- 도 5b는 635 nm의 레이저의 조사 주파수의 함수로서 파라미터 h를 나타낸다.
- 도 6a는 투명 유리 기판 상에 IGZO 양자점과 포토 트랜지스터 기반의 사진을 도시한 도면이다.
- 도 6b는 laser illumination ($\lambda = 635 \text{ nm}$)의 포함 여부에 따른 고투명 가시광 센서의 특성을 나타내는 도면이다.
- 도 6c는 레이저 펄스($\lambda = 635, 785 \text{ nm}$)를 갖는 광전류를 도시하는 도면이다.
- 도 7은 일실시예에 따른 투명 광 트랜지스터를 형성하는 방법을 설명하는 도면이다.
- 도 8은 다른 일실시예에 따른 투명 광 트랜지스터를 형성하는 방법을 설명하는 도면이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

- [0025] 이하에서, 실시예들을 첨부된 도면을 참조하여 상세하게 설명한다. 그러나, 이러한 실시예들에 의해 권리범위가 제한되거나 한정되는 것은 아니다. 각 도면에 제시된 동일한 참조 부호는 동일한 부재를 나타낸다.
- [0026] 아래 설명에서 사용되는 용어는, 연관되는 기술 분야에서 일반적이고 보편적인 것으로 선택되었으나, 기술의 발달 및/또는 변화, 관례, 기술자의 선호 등에 따라 다른 용어가 있을 수 있다. 따라서, 아래 설명에서 사용되는 용어는 기술적 사상을 한정하는 것으로 이해되어서는 안 되며, 실시예들을 설명하기 위한 예시적 용어로 이해되어야 한다.
- [0027] 또한 특정한 경우는 출원인이 임의로 선정한 용어도 있으며, 이 경우 해당되는 설명 부분에서 상세한 그 의미를 기재할 것이다. 따라서 아래 설명에서 사용되는 용어는 단순한 용어의 명칭이 아닌 그 용어가 가지는 의미와 명세서 전반에 걸친 내용을 토대로 이해되어야 한다.
- [0028] 도 1은 일실시예에 따른 고투명 가시광 센서(100)를 설명하는 도면이다.
- [0029] 일실시예에 따른 고투명 가시광 센서(100)는 밴드갭이 작고, 제어가 가능한 양자점 소재를 광 흡수 소재로 활용하여 구현될 수 있다. 또한, 고투명 가시광 센서(100)는 밴드갭이 큰 투명 반도체 소재와, 가시광을 흡수할 양자점 소재를 융합하는 새로운 개념의 센서이다.
- [0030] 즉, 일실시예에 따른 고투명 가시광 센서(100)는 큰 밴드갭을 갖는 투명반도체 소재와 작은 밴드갭을 갖는 양자점 소재의 융합을 통해, 투명하면서도 가시광선을 흡수할 수 있다.

- [0031] 이를 위해, 일실시예에 따른 고투명 가시광 센서(100)는 밴드갭이 제1 임계값 이상이면서 가시광선을 미리 지정된 비율 이상 투과시키는 투명 반도체(110)와, 투명 반도체(110)의 일측에 형성되고, 밴드갭이 제2 임계값 이하인 양자점(120)을 포함할 수 있다. 이때의 양자점(120)은 가시광선을 흡수하여 전기신호로 변환할 수 있고, 밴드갭 또는 크기 중에서 적어도 하나를 활용하여 상기 가시광선의 풀컬러(full color)를 각각의 전기신호로 변환시키는 전하 수송층을 포함할 수 있다.
- [0032] 투명 반도체(110)는 변환된 전기신호의 전하 수송층으로 동작할 수 있다. 또한, 투명 반도체(110)는 그래핀(Graphene) 및 이황화몰리브덴(MoS2) 중에서 적어도 하나를 포함하는 2차원 나노소재를 포함한다.
- [0033] 즉, 일실시예에 따른 고투명 가시광 센서(100)는 넓은 대역폭의 IGZO 필름이 투명 반도체 채널로서 사용되는 반면, 좁은 대역폭의 양자점들이 가시광을 흡수하여 전기 신호로 변환하는 특성을 이용한다.
- [0034] 전형적인 IGZO 박막 트랜지스터(TFT)는 가시 광선 채색의 광전류를 나타내지 않는데 반해, 양자점들을 포함하는 IGZO TFT들은 가시광(visible light)에 노출되는 경우 광전류(photocurrent)가 강화될 수 있다.
- [0035] 결국, 고투명 가시광 센서(100)는 가시광선을 투과시키는 투명 반도체 소재와 가시광선을 흡수할 수 있는 양자점을 융합한다는 점에서 신규하고, 투명하면 가시광선을 흡수할 수 없는 기존의 자연원리를 개선한다는 점에 있어서 진보한 기술이다.
- [0036] 이하에서는 고투명 가시광 센서(100)를 구현하기 위한 구체적인 실시예를 설명한다.
- [0037] 도 2a는 와이드 밴드 갭 산화물 TFT의 장치의 특성을 나타낸다.
- [0038] 도면부호 200와 같이, 10 nm 두께의 IGZO 막을, 보텀 게이트 구조의 TFT를 제조하기 위해, 알루미늄 소스 - 드레인 전극의 SiO₂ / Si 기판 상에 증착할 수 있다. 이때의 IGZO는 인듐 갈륨 및 산화 아연 등의 산화물 반도체로 해석될 수 있다.
- [0039] 도 2b는 405nm 레이저 노출 유무에 따른 IGZO TFT들의 전달 곡선(210)을 나타내는데, 전달 곡선(210)에 따르면 드레인 전류(ID)의 증가가 분명하게 관찰된다.
- [0040] 따라서, 고 에너지 광자인 405 nm의 레이저는 넓은 밴드 갭 IGZO TFT들에 충분한 광전류를 유도할 수 있다. 한편, 635 nm의 레이저의 광자 에너지는 IGZO 반도체의 밴드 갭보다 작은 1.95 eV로 나타남을 확인할 수 있다.
- [0041] 도 2c는 635nm 레이저 노출 유무에 따른 IGZO TFT들의 전달 곡선(220)을 나타낸다. 따라서, 도 220에서 보는 바와 같이 광전류는 635 nm의 레이저에서 관찰되지 않았다.
- [0042] 도 2d는 IGZO 활성층의 두께 변화에 따라 서로 다른 레이저 파장을 나타내는 도면이다.
- [0043] 도 2d의 도면부호 230에서 보는 바와 같이, IGZO 활성층의 두께 변화에 따라 서로 다른 레이저 파장($\lambda = 405$ and 635 nm)에서의 응답성(Responsivity) 및 EQE가 나타나고, 응답성(Responsivity) 및 EQE의 평가는 아래 수학적 식 1 및 수학적 식 2에 의해 산출될 수 있다.
- [0044] [수학적 식 1]
- $$Responsivity = \frac{(I_{total} - I_{dark}) / A_{pt}}{P / A_{pd}} = \frac{J_{ph}}{P}$$
- [0045]
- [0046] [수학적 식 2]
- $$EQE = \frac{J_{ph} / q}{p / hv}$$
- [0047]
- [0048] 수학적 식 1 및 수학적 식 2에서, I_{total} 은 총 광전류이고, I_{dark} 는 암전류(dark current)이며, P는 입사 레이저 파워이고, A_{pt} 는 채널 폭 및 두께의 곱이며, A_{pd} 는 레이저 광원의 스폿 크기, J_{ph} 은 광전류 밀도이고, P는 입사 레이저 파워 밀도이다.
- [0049] 도면부호 230에서 관찰되는 바와 같이, 다양한 두께의 IGZO를 가진 센서의 응답성과 EQE 모두 635 nm의 레이저 조사 후 무시할 수 있는 정도이다. 405 nm의 레이저에 대한 응답성 및 EQE은 IGZO의 두께 감소에 따라 증가함을 확인할 수 있다. 따라서, IGZO TFT들은 넓은 밴드 갭에 의해 고 에너지 광자 405 nm의 레이저 소스와 광전

류를 유도 할 수 있다.

- [0050] 도 3a는 IGZO의 표면에 양자점을 증착하는 고투명 가시광 센서(310)를 나타내는 도면이다.
- [0051] 양자점은 광트랜지스터의 액티브 채널 영역에 분포하는 전하 수송층을 포함할 수 있다. 특히, 양자점은 투명 반도체와 게이트 인슐레이터 사이의 인터페이스에 위치하는 상기 액티브 채널 영역에 분포하는 전하 수송층을 포함할 수 있다.
- [0052] 구체적으로, 도 3a에서는 가시광의 응답성을 높이기 위해 한 CdSe 양자점을 IGZO의 표면에 스핀-코팅할 수 있다. 이때의 CdSe 양자점의 밴드 갭은 가시 광선을 흡수하기에 충분히 작도록 1.83 eV일 수 있다.
- [0053] 도 3b는 균일하게 소스 및 드레인 전극 사이의 IGZO 채널 영역에 분포된 양자점의 SEM(Scanning Electron Microscope) 이미지(320)를 나타낸다.
- [0054] 도면부호 320에서 보는 바와 같이, 양자점은 전형적인 n 형 TFT의 동작을 보일 수 있고, I_0 의 증가가 가시광 ($\lambda = 635 \text{ nm}$)의 노출에 따라 명확하게 관찰 될 수 있다. 도 3b는 635 nm의 레이저 소스 여부에 따라 양자점과 IGZO TFT들의 출력 및 전송 특성을 요약하는 것으로서, IGZO의 두께 변화에 따라, 양자점이 IGZO TFT의 채널 영역에서 서로 다른 거리에 위치함을 나타낸다.
- [0055] 도 3c는 785nm의 광원이 광자 에너지가 양자점의 밴드 갭보다 작은 경우에 대해 광전류를 유도하지 않았음을 나타내는 도면이다.
- [0056] 도면부호 330에서 보는 바와 같이, 가시광 하에서도 광원의 파장이 감소함에 따라 응답성 및 EQE가 증가한다. 이는 작은 밴드 갭의 CdSe 양자점으로 인해 가시광이 센서의 광전류로 유도되는 것으로 확인된다. 즉, 양자점과 IGZO 모두 광전류 증가 광자를 흡수하기 때문에 높은 광자 에너지 영역에서는 반응성과 EQE 값이 증가할 수 있다.
- [0057] 도 4a는 양자점이 IGZO와의 SiO_2 사이의 인터페이스에 삽입된 형태를 설명하는 도면이다.
- [0058] 도면부호 410에 도시 된 바와 같이 장치의 광전류를 향상시키기 위해, 양자점은 10 nm 두께의 SiO_2 와 IGZO의 사이에 삽입될 수 있다.
- [0059] 도 4b는 균일하게 코팅 된 양자점 명확 계면에서 관찰 장치의 단면을 나타내는 TEM(Transmission Electron Microscopy) 이미지를 도시한다.
- [0060] 양자점은 IGZO TFT의 액티브 채널 영역에 배치될 수 있다.
- [0061] 도면부호 410에서 확인되는 고투명 가시광 센서는 전형적인 N- 타입의 동작을 나타내고, 광전류가 635nm의 가시광선으로 관찰될 수 있다.
- [0062] 도 4c는 가시광의 노광 장치와 광전류의 근원을 설명하는 도면이고, 도면부호 430에서 보는 바와 같이 작은 밴드 갭 양자점은 가시광을 흡수하고 양자점의 전도대(conduction band)로의 가전 자대(valence band)로부터 전자가 활성화될 수 있다. 따라서, 양자점은 추가적으로 광-여기된 상태의 전자(photo-excited electrons)를 유도하고 낮은 에너지 광자 ($\lambda = 635 \text{ nm}$)에 IGZO의 전도대에 주입할 수 있다.
- [0063] 이러한 방식으로, 광역 밴드 갭 소자의 광전류는 작은 밴드 갭 양자점의 존재에 따라 가시광과 함께 증가할 수 있다.
- [0064] 도 5a는 양자점이 IGZO와의 SiO_2 의 계면에 삽입되는 시간 의존적 광 응답($\lambda = 635, 785 \text{ nm}$)을 갖는 고투명 가시광 센서를 설명하는 도면이다.
- [0065] 도 5a에서는 양자점이 IGZO와의 SiO_2 의 계면에 배치된 센서의 시간에 따른 광 응답을 나타낸다.
- [0066] 도면부호 510에서 보는 바와 같이, 10 Hz에서의 레이저 펄스 (1 mW의, $\lambda = 635$ 및 785 nm)가 센서에 적용될 수 있다. 이때, 광전류는 635 nm의 레이저의 조명하에서 증가하였고, 조명을 분리 할 때 급격하게 감소하였다.
- [0067] 도면부호 510에서는 635nm 광자 에너지의 밴드 갭을 극복하기에 충분하지 않을 수 있고, 광전류에 신속한 응답으로 인해 작은 밴드 갭 양자점이 관찰되었다.
- [0068] 한편, 도면부호 510에서의 센서는 낮은 에너지 광자 ($\lambda = 785 \text{ nm}$)의 레이저 조사에 광 응답을 나타내지 않았다.

[0069] 광 응답을 정량화 하기 위해서는 수학적 식 3과 같이 파라미터 h 을 계산할 수 있다.

[0070] [수학적 식 3]

$$\eta = \frac{I_{on} - I_{off}}{I_{on} + I_{off}}$$

[0071]

[0072] 수학적 식 3에서 이 수학적식에서, I_{on} 은 이온 레이저 조명 ID이며, I_{off} 는 어두운 상태에서의 ID이다. 따라서, 수학적 식 3에 의하면 센서가 illumination에 따라 완전히 조명에 따라 켜고 끌 때, 파라미터 h 는 1이고, 센서가 제대로 동작하지 않을 때는, 파라미터 h 는 1 보다 작게 된다.

[0073] 도 5b는 635 nm의 레이저의 조사 주파수의 함수로서 파라미터 h 을 나타낸다.

[0074] 도 5b의 파라미터 h 는 거의 50Hz의 일루미네이션 주파수에 가깝고, 이는 가시광으로 볼 수 없다.

[0075] 도면부호 520의 그래프는 50Hz 입력 일루미네이션($\lambda = 635$ nm)에 해당하는 장치의 광응답을 보여준다. 즉, 따라서, 인간의 눈에 보이지를 빛의 주파수를 검출 할 수 있는 투명 가시광 광 트랜지스터는 IGZO와의 SiO₂의 계면에 양자점을 결합하여 제조 될 수 있다.

[0076] 도 6a는 투명 유리 기판 상에 IGZO 양자점과 포토 트랜지스터 기반의 사진을 도시한 도면이다.

[0077] 도 6a의 도면부호 610에 도시 된 바와 같이 포토 트랜지스터는 투명 유리 기판 상에 제조될 수 있다.

[0078] 센서는 10nm 두께의 IGZO 및 양자점의 하이브리드 액티브 채널 영역을 갖고, 이 때의 양자점은 IGZO와 Al₂O₃의 게이트 절연막 사이에 배치될 수 있다. 이때, 소스 - 드레인 전극은 100 nm의 알루미늄으로 형성된다.

[0079] 도 6b의 그래프(620)는 laser illumination ($\lambda = 635$ nm) 의 포함 여부에 따른 고투명 가시광 센서의 특성을 나타내는데, 가시 광선 조명의 존재 하에 극적으로 게이트 및 드레인 전압이 증가함을 확인할 수 있다.

[0080] 도 6c는 레이저 펄스($\lambda = 635, 785$ nm)를 갖는 광전류를 도시하는 도면이다.

[0081] 도 6c의 도면부호 630은, 양자점의 작은 밴드 갭에 의해 디바이스는 635 nm laser illumination의 광응답을 나타내고, 양자점의 밴드 갭보다 작은 에너지를 가진 광자 ($\lambda = 785$ nm)는 광전류는 유도 할 수 없음을 나타낸다. 결국, 높은 가시광 응답성이 매우 투명한 광 검출기는 넓은 밴드 갭 반도체, 산화물 작은 밴드 갭 양자점을 이용하여 제조 될 수 있다.

[0082] 도 7은 일실시예에 따른 투명 광 트랜지스터를 형성하는 방법을 설명하는 도면이다.

[0083] 일실시예에 따른 투명 광 트랜지스터를 형성하는 방법은 기판상에 산화물 반도체 소재를 증착 시킬 수 있다(단계 701).

[0084] 예를 들어, 투명 광 트랜지스터를 형성하는 방법은 포토 리소그래피 공정 및 열 증발기를 통해 산화물 반도체 소재(산화물 TFT)를 제조할 수 있다.

[0085] 구체적으로, 투명 광 트랜지스터를 형성하기 위해서는 깨끗한 SiO₂ (100 nm)/Si 기판 상에 IGZO 필름을 증착 시킬 수 있다. 이 때, IGZO 필름을 증착시키기 위해 In₂O₃:Ga₂O₃:ZnO = 1:1:1의 비율을 갖는 싱글 타겟의 radio-frequency(RF) sputtering system을 활용할 수 있다. 또한, 효율적인 IGZO 필름을 증착을 위해 일정 크기의 전력을 유지하여 적절한 진공상태를 유지할 수 있다.

[0086] IGZO 막은 캐리어 집중을 제어하기 위해 미리 지정된 시간 동안 일정 온도의 공기 중에 노출시켜 post-annealed 할 수행할 수 있다.

[0087] 다음으로, 일실시예에 따른 투명 광 트랜지스터를 형성하는 방법은, 증착된 산화물 반도체 소재 상에 알루미늄의 소스 및 드레인 전극을 형성할 수 있다(단계 702).

[0088] 일실시예에 따른 투명 광 트랜지스터를 형성하는 방법은, 알루미늄 100 nm을 증착된 산화물 반도체 소재 상에 소스 및 드레인 전극으로 형성 하였다.

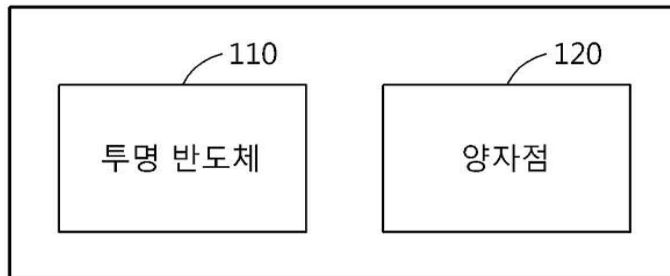
[0089] 또한, 일실시예에 따른 투명 광 트랜지스터를 형성하는 방법은, 완충 산화물 에칭(BOE, Buffered Oxide Echant)의 액티브 채널 영역을 정의하고 기판의 일부 산화물 반도체 소재를 분리하여 액티브 채널 영역을 생성한다.

- [0090] 일실시예에 따른 투명 광 트랜지스터를 형성하는 방법은 산화물 반도체 소재의 표면 중 상기 소스 및 드레인 전극에 의해 형성되는 액티브 채널 상에 양자점을 코팅할 수 있다(703).
- [0091] 생성된 액티브 채널과 관련하여, IGZO 박막 트랜지스터는 25 mm의 채널 길이와 하부 게이트 구조 (200) mm의 폭으로 형성될 수 있다.
- [0092] 양자점으로는 콜로이드 카드뮴 셀레 나이드(Colloidal cadmium selenide, CdSe)가 사용될 수 있고, 일실시예에 따른 투명 광 트랜지스터를 형성하는 방법은 양자점 코팅을 위해 액티브 채널 영역 상에 일정시간 동안 일정 온도에서 어닐링할 수 있다.
- [0093] 이후, 일실시예에 따른 투명 광 트랜지스터를 형성하는 방법은 가교 공정(cross-linking process)에서 메탄올 용액으로의 침지 과정(dipped process)과, 알코올 세정 후 건조를 통해 양자점이 코팅된 투명 광 트랜지스터를 형성할 수 있다.
- [0094] 도 8은 다른 일실시예에 따른 투명 광 트랜지스터를 형성하는 방법을 설명하는 도면이다.
- [0095] 도 8은 Al_2O_3 과 IGZO의 인터페이스에서 양자점을 형성할 수 있다.
- [0096] 이를 위해, 투명 광 트랜지스터를 형성하는 방법에 따르면 우선, 기판상에 양자점을 코팅한다(801).
- [0097] 또한, 코팅된 양자점 상에 산화물 반도체 소재를 증착하고(802), 증착된 산화물 반도체 소재 상에 알루미늄의 소스 및 드레인 전극을 형성할 수 있다(803).
- [0098] 이때, 기판과 산화물 반도체 소재의 사이가 액티브 채널이 될 수 있고, 양자점이 기판 상에 스핀-코팅 방식으로 증착될 수 있다.
- [0099] 결국, 본 발명을 이용하면 제어가 가능한 양자점 소재를 광흡수 소재로 활용할 수 있고, 밴드갭이 큰 투명 반도체 소재와, 가시광을 흡수할 양자점 소재의 융합으로 새로운 개념의 투명 가시광선 센서를 제공할 수 있다.
- [0100] 본 발명은 투명 전자소자를 사용하는 다양한 분야에서 활용될 수 있다. 특히, 스마트 글래스용 광센서, 풀컬러 CCD의 투명한 전자소자, 스마트 윈도우용 투명센서, 자동차용 투명센서, 웨어러블 전자소자용 투명센서, 로봇/드론 기술 등에 활용될 수 있다.
- [0101] 본 발명의 일실시예에 따른 방법은 다양한 컴퓨터 수단을 통하여 수행될 수 있는 프로그램 명령 형태로 구현되어 컴퓨터 판독 가능 매체에 기록될 수 있다. 상기 컴퓨터 판독 가능 매체는 프로그램 명령, 데이터 파일, 데이터 구조 등을 단독으로 또는 조합하여 포함할 수 있다. 상기 매체에 기록되는 프로그램 명령은 본 발명을 위하여 특별히 설계되고 구성된 것들이거나 컴퓨터 소프트웨어 당업자에게 공지되어 사용 가능한 것일 수도 있다. 컴퓨터 판독 가능 기록 매체의 예에는 하드 디스크, 플로피 디스크 및 자기 테이프와 같은 자기 매체(magnetic media), CD-ROM, DVD와 같은 광기록 매체(optical media), 플롭티컬 디스크(floptical disk)와 같은 자기-광 매체(magneto-optical media), 및 롬(ROM), 램(RAM), 플래시 메모리 등과 같은 프로그램 명령을 저장하고 수행하도록 특별히 구성된 하드웨어 장치가 포함된다. 프로그램 명령의 예에는 컴파일러에 의해 만들어지는 것과 같은 기계어 코드뿐만 아니라 인터프리터 등을 사용해서 컴퓨터에 의해서 실행될 수 있는 고급 언어 코드를 포함한다. 상기된 하드웨어 장치는 본 발명의 동작을 수행하기 위해 하나 이상의 소프트웨어 모듈로서 작동하도록 구성될 수 있으며, 그 역도 마찬가지이다.
- [0102] 이상과 같이 본 발명은 비록 한정된 실시예와 도면에 의해 설명되었으나, 본 발명은 상기의 실시예에 한정되는 것은 아니며, 본 발명이 속하는 분야에서 통상의 지식을 가진 자라면 이러한 기재로부터 다양한 수정 및 변형이 가능하다.
- [0103] 그러므로, 본 발명의 범위는 설명된 실시예에 국한되어 정해져서는 아니 되며, 후술하는 특허청구범위뿐만 아니라 이 특허청구범위와 균등한 것들에 의해 정해져야 한다.

도면

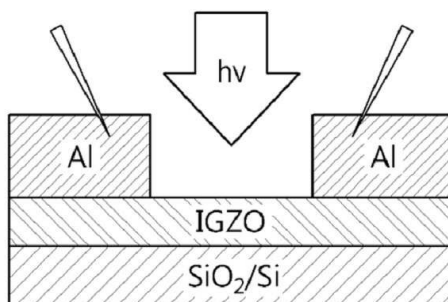
도면1

100



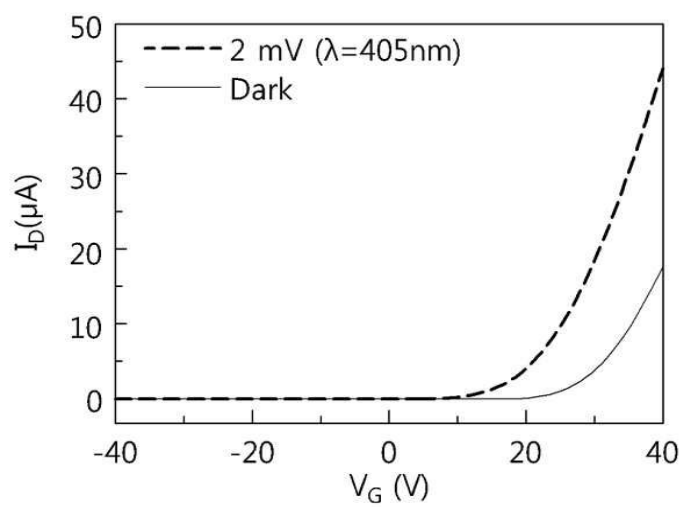
도면2a

200

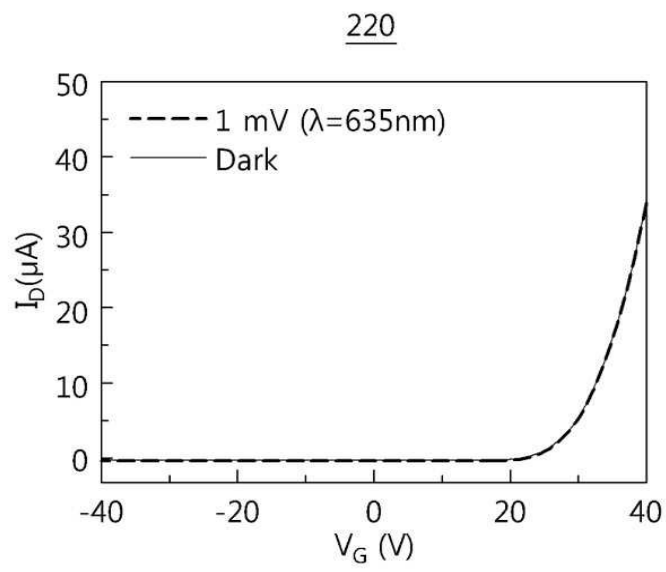


도면2b

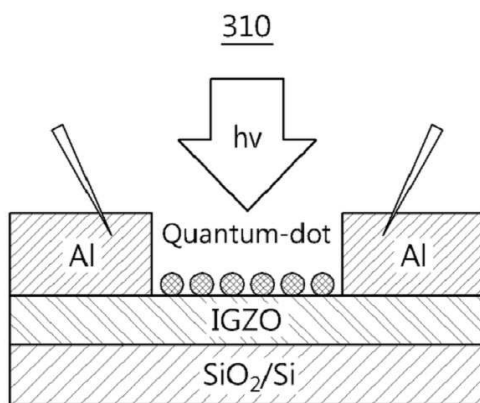
210



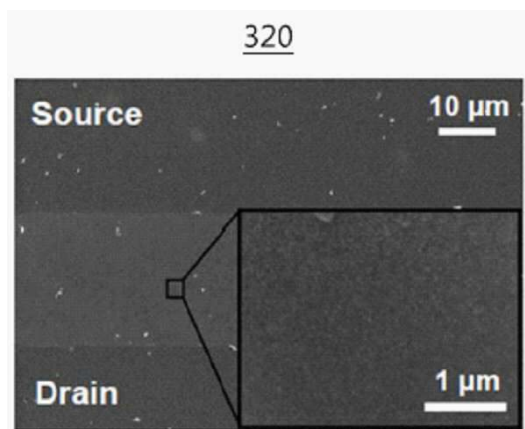
도면2c



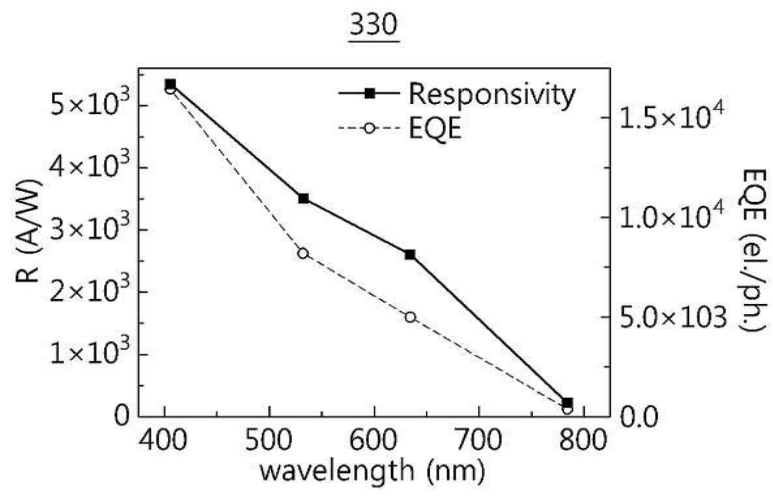
도면3a



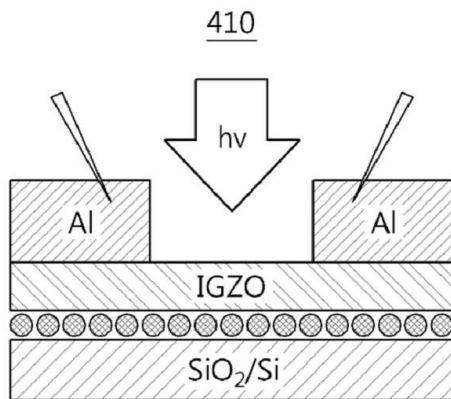
도면3b



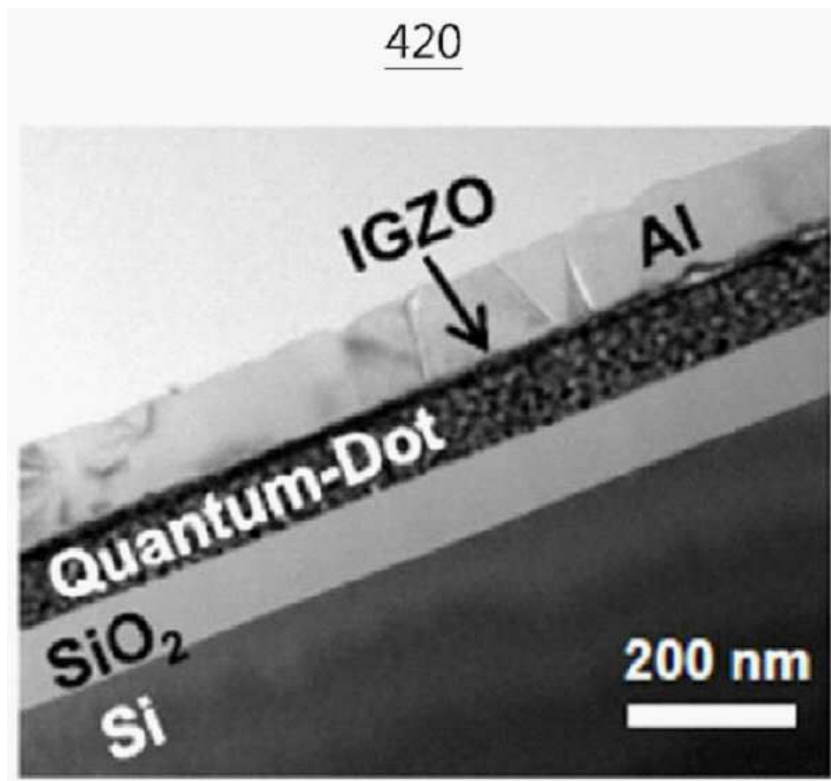
도면3c



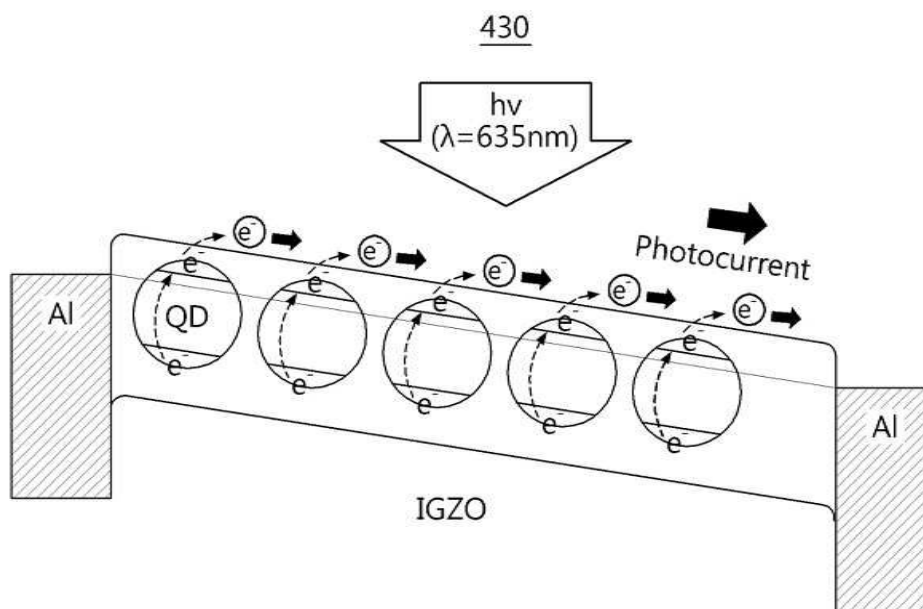
도면4a



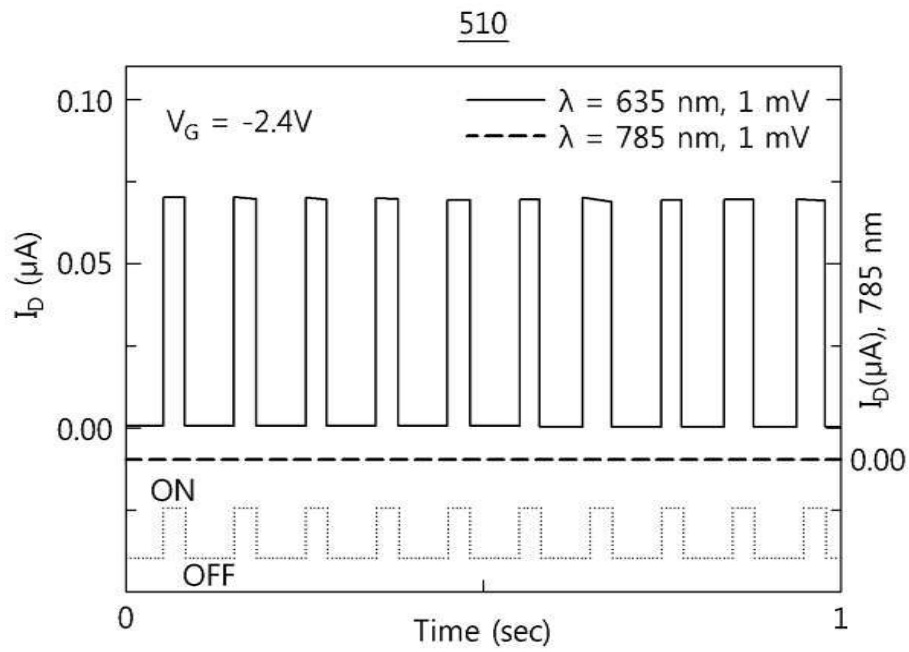
도면4b



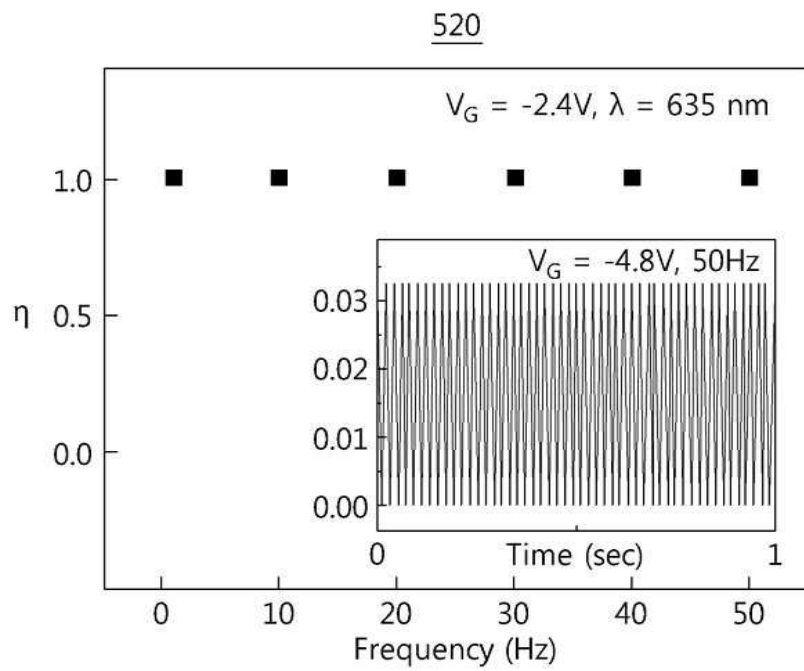
도면4c



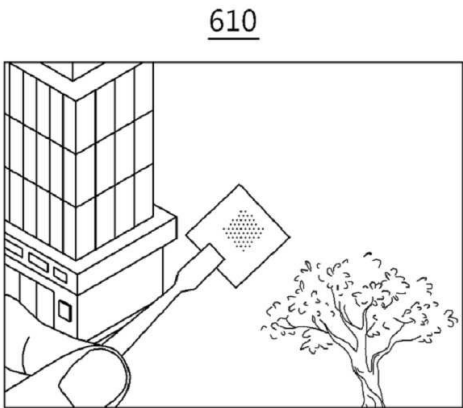
도면5a



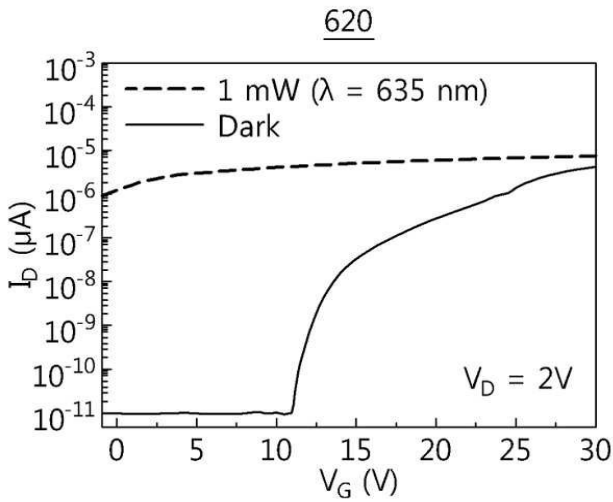
도면5b



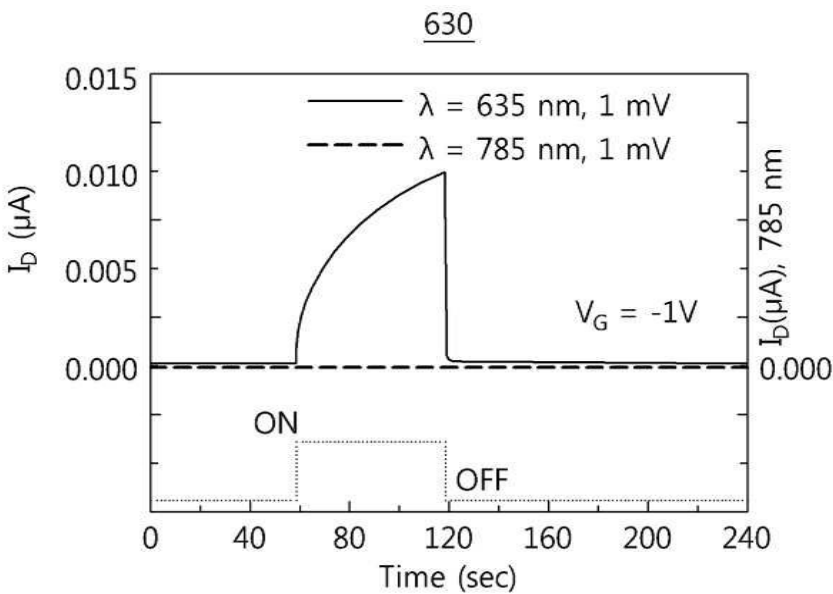
도면6a



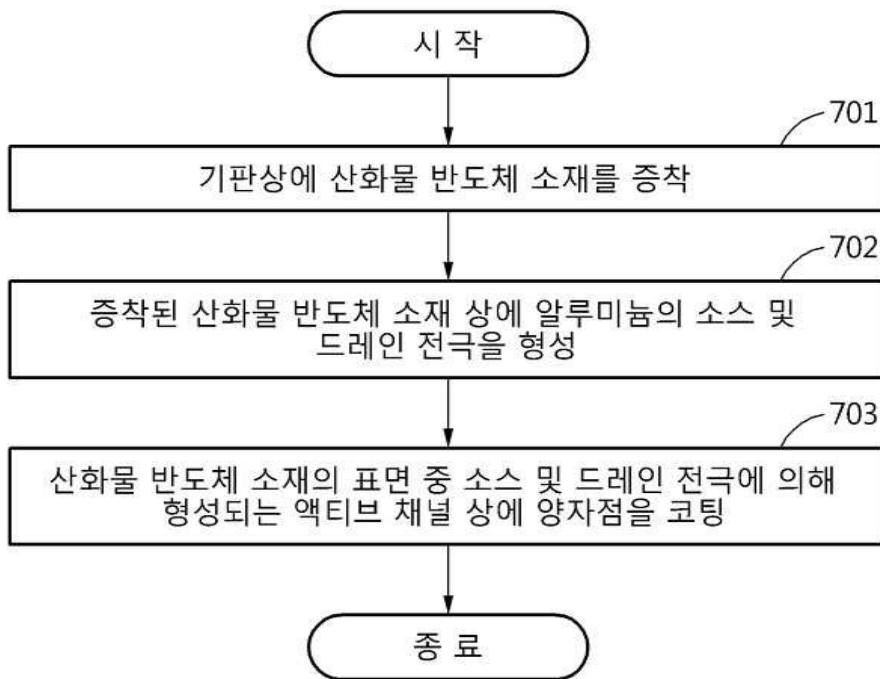
도면6b



도면6c



도면7



도면8

