



(19) 대한민국특허청(KR)  
(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2024년11월13일  
(11) 등록번호 10-2730346  
(24) 등록일자 2024년11월11일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)  
H01L 31/0232 (2014.01) H01L 31/0224 (2006.01)  
H01L 31/032 (2006.01) H01L 31/113 (2006.01)  
(52) CPC특허분류  
H01L 31/02322 (2013.01)  
H01L 31/022408 (2013.01)  
(21) 출원번호 10-2023-0015540  
(22) 출원일자 2023년02월06일  
심사청구일자 2023년02월06일  
(65) 공개번호 10-2024-0123057  
(43) 공개일자 2024년08월13일  
(56) 선행기술조사문헌  
KR1020120078952 A\*  
(뒷면에 계속)

(73) 특허권자  
연세대학교 산학협력단  
서울특별시 서대문구 연세로 50 (신촌동, 연세대학교)  
(72) 발명자  
김현재  
서울특별시 마포구 광성로 17, 103동 705호  
안중빈  
서울특별시 마포구 신촌로12다길 20, 313호  
(뒷면에 계속)  
(74) 대리인  
특허법인시공

전체 청구항 수 : 총 8 항

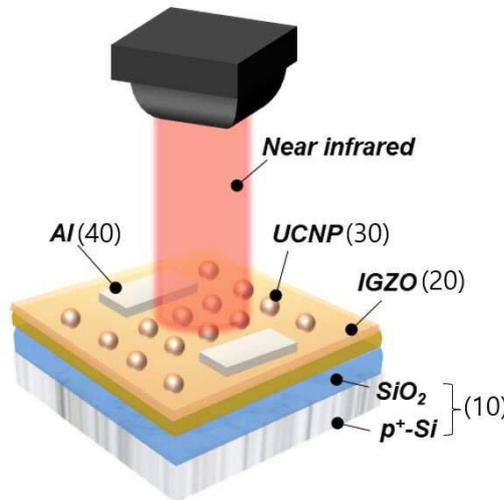
심사관 : 김운천

(54) 발명의 명칭 근적외선 센싱이 가능한 산화물 반도체 기반 포토트랜지스터 및 이를 제조하는 방법

(57) 요약

본 발명의 산화물 반도체 기반 포토트랜지스터 제조 방법은 기판 상에 산화물 반도체 박막을 형성하는 단계; 상기 산화물 반도체 박막 상에 UCNP(Upconversion Nanoparticle) 용액을 도포하는 단계; UCNP 용액이 도포된 기판을 회전시키는 단계; 및 UCNP 용액이 도포된 기판에 어닐링(annealing)을 수행하는 단계를 포함할 수 있다.

대표도 - 도6



(52) CPC특허분류

*H01L 31/02327* (2013.01)  
*H01L 31/032* (2013.01)  
*H01L 31/1136* (2013.01)  
*H01L 31/1864* (2013.01)

(56) 선행기술조사문헌

KR1020130102148 A\*  
 KR1020150005772 A\*  
 KR1020190057713 A\*  
 US20190018116 A1\*

(72) 발명자

**이이삭**

경기도 파주시 문산읍 독서울1길 39, 311동 504호

**김원기**

경기도 고양시 일산동구 성현로 335

**정주성**

서울특별시 서대문구 봉원사길 54, 303호

**안중혁**

서울특별시 강동구 상암로 251, 913동 908호

**서유진**

서울특별시 서대문구 성산로17길 20, 404호

\*는 심사관에 의하여 인용된 문헌

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호	1711164257
과제번호	2021R1A4A1031437
부처명	과학기술정보통신부
과제관리(전문)기관명	한국연구재단
연구사업명	집단연구지원
연구과제명	fMRI 호환용 뇌 삽입형 디바이스 개발 및 딥러닝 기반 뇌 데이터 분석 연구실
기 여 율	1/1
과제수행기관명	연세대학교
연구기간	2022.03.01 ~ 2023.02.28

## 명세서

### 청구범위

#### 청구항 1

산화물 반도체 기반 포토트랜지스터에 있어서,  
기판 상에 형성된 산화물 반도체 박막;  
상기 산화물 반도체 박막 상에 형성된 UCNP 레이어; 및  
상기 UCNP 레이어 상에 형성된 전극을 포함하고,  
상기 UCNP 레이어는 제1 비율의 증감제(sensitizer) 및 제2 비율의 활성화제(activation)를 포함하고,  
상기 제1 비율 및 상기 제2 비율은 UCNP 레이어를 통해 방출되는 빛의 파장대에 따라 설정되고,  
상기 제1 비율은 상기 제2 비율보다 더 크고,  
상기 산화물 반도체 기반 포토트랜지스터는 근적외선에 의해 오프 커런트가 발생하는  
산화물 반도체 기반 포토트랜지스터.

#### 청구항 2

제1항에 있어서,  
상기 UCNP 레이어는 UCNP 용액이 도포된 기판을 회전시킴으로써 형성되는  
산화물 반도체 기반 포토트랜지스터.

#### 청구항 3

제1항에 있어서,  
상기 전극은 이격되어 배치되는 제1 전극 및 제2 전극을 포함하고,  
상기 제1 전극은 소스 전극이며, 상기 제2 전극은 드레인 전극인  
산화물 반도체 기반 포토트랜지스터.

#### 청구항 4

제1항에 있어서,  
상기 UCNP 레이어는 UCNP 용액이 도포된 기판을 1000 rpm의 속도로 30초 동안 기판을 회전시켜 형성된  
산화물 반도체 기반 포토트랜지스터.

#### 청구항 5

제1항에 있어서,  
상기 UCNP 레이어는 UCNP 용액이 도포된 기판을 100도에서 10분 동안 어닐링(annealing)하여 형성된

산화물 반도체 기반 포토트랜지스터.

**청구항 6**

제1항에 있어서,

상기 산화물 반도체 박막은 인듐 갈륨 징크 옥사이드(IGZO), 징크 옥사이드(ZnO), 인듐 징크 옥사이드(IZO), 인듐 틴 옥사이드(ITO), 징크 틴 옥사이드(ZTO), 실리콘 인듐 징크 옥사이드(SIZO), 갈륨 징크 옥사이드(GZO), 하프늄 인듐 징크 옥사이드(HIZO), 징크 인듐 틴 옥사이드 (ZITO) 및 알루미늄 징크 틴 옥사이드(AZTO) 중 적어도 하나를 포함하는

산화물 반도체 기반 포토트랜지스터.

**청구항 7**

삭제

**청구항 8**

제1항에 있어서,

상기 증감제는 이트륨(Y), 이터븀(Yb) 및 툴륨(Tm) 중 적어도 하나를 포함하고,

상기 활성화제는 툴륨(Tm) 또는 어븀(Er)을 포함하는

산화물 반도체 기반 포토트랜지스터.

**청구항 9**

삭제

**청구항 10**

객체에 근적외선을 방출하는 레이저; 및

상기 객체에 의해 반사된 근적외선을 검출할 수 있는 산화물 반도체 기반 포토트랜지스터를 포함하고,

상기 산화물 반도체 기반 포토트랜지스터는,

기판 상에 형성된 산화물 반도체 박막,

상기 산화물 반도체 박막 상에 형성된 UCNP 레이어, 및

상기 UCNP 레이어 상에 형성된 전극을 포함하고,

상기 UCNP 레이어는 제1 비율의 증감제(sensitizer) 및 제2 비율의 활성화제(activation)를 포함하고,

상기 제1 비율 및 상기 제2 비율은 UCNP 레이어를 통해 방출되는 빛의 파장대에 따라 설정되고,

상기 제1 비율은 상기 제2 비율보다 더 크고,

상기 산화물 반도체 기반 포토트랜지스터는 근적외선에 의해 오프 커런트가 발생하는

근적외선 검출이 가능한 센서.

**발명의 설명**

**기술 분야**

본 발명은 산화물 반도체 기반 포토트랜지스터에 관한 것으로, 보다 상세하게는, UCNP를 이용하여 근적외선을

[0001]

센싱할 수 있는 산화물 반도체 기반 포토트랜지스터에 관한 것이다.

**배경 기술**

[0002] 근적외선은 피부 진피까지 도달할 수 있어, 생체 신호를 센싱하기 위한 광으로 많이 사용되고 있다. 그러나, 종래의 산화물 반도체 기반 포토트랜지스터는 넓은 밴드갭으로 인해 근적외선을 센싱할 수 없어, 근적외선 센서로서의 사용은 제한되어 있었다. 사이즈 이득 등의 효율성을 위해 근적외선을 센싱할 수 있는 산화물 반도체 기반 포토트랜지스터의 개발이 필요하다.

**발명의 내용**

**해결하려는 과제**

[0003] 본 발명의 일 과제는 UCNP를 이용하여 근적외선을 센싱할 수 있는 포토트랜지스터를 제조하는 방법에 관한 것이다.

**과제의 해결 수단**

[0004] 일 실시예에 따른 산화물 반도체 기반 포토트랜지스터 제조 방법은 기판 상에 산화물 반도체 박막을 형성하는 단계; 상기 산화물 반도체 박막 상에 UCNP(Upconversion Nanoparticle) 용액을 도포하는 단계; UCNP 용액이 도포된 기판을 회전시키는 단계; 및 UCNP 용액이 도포된 기판에 어닐링(annealing)을 수행하는 단계를 포함할 수 있다.

[0005] 여기서, UCNP 용액이 도포된 상기 산화물 반도체 박막 상에 전극을 형성하는 단계를 더 포함할 수 있다.

[0006] 여기서, 상기 전극은 이격되어 배치되는 제1 전극 및 제2 전극을 포함하고, 상기 제1 전극은 소스 전극이며, 상기 제2 전극은 드레인 전극일 수 있다.

[0007] 여기서, 상기 UCNP 용액이 도포된 기판을 회전시키는 단계는, 1000 rpm의 속도로 30초 동안 기판을 회전시키는 단계일 수 있다.

[0008] 여기서, 상기 어닐링은 100도에서 10분 동안 수행될 수 있다.

[0009] 여기서, 상기 산화물 반도체 박막은 인듐 갈륨 징크 옥사이드(IGZO), 징크 옥사이드(ZnO), 인듐 징크 옥사이드(IZO), 인듐 틴 옥사이드(ITO), 징크 틴 옥사이드(ZTO), 실리콘 인듐 징크 옥사이드(SIZO), 갈륨 징크 옥사이드(GZO), 하프늄 인듐 징크 옥사이드(HIZO), 징크 인듐 틴 옥사이드(ZITO) 및 알루미늄 징크 틴 옥사이드(AZTO) 중 적어도 하나를 포함할 수 있다.

[0010] 여기서, 증감제(sensitizer)를 제1 비율로 혼합하고, 활성화제(activation)를 제2 비율로 혼합하여 UCNP 용액을 제조하는 단계를 더 포함하고, 상기 제1 비율 및 상기 제2 비율은 UCNP를 통해 방출되는 빛의 파장대에 따라 설정될 수 있다.

[0011] 여기서, 상기 증감제는 이트륨(Y), 이터븀(Yb) 및 툴륨(Tm) 중 적어도 하나를 포함하고, 상기 활성화제는 툴륨(Tm) 또는 어븀(Er)을 포함할 수 있다.

[0013] 일 실시예에 따른 산화물 반도체 기반 포토트랜지스터는 기판 상에 형성된 산화물 반도체 박막; 상기 산화물 반도체 박막 상에 형성된 UCNP 레이어; 및 상기 UCNP 레이어 상에 형성된 전극을 포함하고, 상기 UCNP 레이어는 제1 비율의 증감제(sensitizer) 및 제2 비율의 활성화제(activation)를 포함하고, 상기 제1 비율 및 상기 제2 비율은 UCNP 레이어를 통해 방출되는 빛의 파장대에 따라 설정될 수 있다.

[0015] 일 실시예에 따른 근적외선 검출이 가능한 센서는 객체에 근적외선을 방출하는 레이저; 및 상기 객체에 의해 반사된 근적외선을 검출할 수 있는 산화물 반도체 기반 포토트랜지스터를 포함하고, 상기 산화물 반도체 기반 포토트랜지스터는, 기판 상에 형성된 산화물 반도체 박막, 상기 산화물 반도체 박막 상에 형성된 UCNP 레이어, 및 상기 UCNP 레이어 상에 형성된 전극을 포함할 수 있다.

**발명의 효과**

[0016] 본 발명의 일 실시예에 따르면 UCNP를 이용하여 근적외선을 센싱할 수 있는 포토트랜지스터가 제공될 수 있다.

**도면의 간단한 설명**

- [0017] 도 1은 종래의 산화물 반도체 기반의 포토트랜지스터를 설명하기 위한 도면이다.
- 도 2는 도 1의 포토트랜지스터의 에너지 밴드갭을 설명하기 위한 도면이다.
- 도 3 내지 도 5는 UCNP를 설명하기 위한 도면이다.
- 도 6은 일 실시예에 따른 산화물 반도체 기반의 포토트랜지스터를 설명하기 위한 도면이다.
- 도 7 내지 도 10은 일 실시예에 따른 산화물 반도체 기반의 포토트랜지스터를 제조하는 방법을 설명하기 위한 도면이다.
- 도 11은 UCNP의 유무에 따른 포토트랜지스터의 성능을 비교하는 그래프이다.
- 도 12는 UCNP의 유무에 따른 포토트랜지스터의 성능을 비교하는 표이다.
- 도 13은 일 실시예에 따른 산화물 반도체 기반의 포토트랜지스터를 이용한 센서를 설명하기 위한 도면이다.

**발명을 실시하기 위한 구체적인 내용**

- [0018] 본 명세서에 기재된 실시예는 본 발명이 속하는 기술 분야에서 통상의 지식을 가진 자에게 본 발명의 사상을 명확히 설명하기 위한 것이므로, 본 발명이 본 명세서에 기재된 실시예에 한정되는 것은 아니며, 본 발명의 범위는 본 발명의 사상을 벗어나지 아니하는 수정에 또는 변형예를 포함하는 것으로 해석되어야 한다.
- [0019] 본 명세서에서 사용되는 용어는 본 발명에서의 기능을 고려하여 가능한 현재 널리 사용되고 있는 일반적인 용어를 선택하였으나 이는 본 발명이 속하는 기술 분야에서 통상의 지식을 가진 자의 의도, 관례 또는 새로운 기술의 출현 등에 따라 달라질 수 있다. 다만, 이와 달리 특정한 용어를 임의의 의미로 정의하여 사용하는 경우에는 그 용어의 의미에 관하여 별도로 기재할 것이다. 따라서 본 명세서에서 사용되는 용어는 단순한 용어의 명칭이 아닌 그 용어가 가진 실질적인 의미와 본 명세서의 전반에 걸친 내용을 토대로 해석되어야 한다.
- [0020] 본 명세서에 첨부된 도면은 본 발명을 용이하게 설명하기 위한 것으로 도면에 도시된 형상은 본 발명의 이해를 돕기 위하여 필요에 따라 과장되어 표시된 것일 수 있으므로 본 발명이 도면에 의해 한정되는 것은 아니다.
- [0021] 본 명세서에서 본 발명에 관련된 공지의 구성 또는 기능에 대한 구체적인 설명이 본 발명의 요지를 흐릴 수 있다고 판단되는 경우에 이에 관한 자세한 설명은 필요에 따라 생략하기로 한다.
- [0023] 도 1은 종래의 산화물 반도체 기반의 포토트랜지스터를 설명하기 위한 도면이다. 구체적으로, 도 1은 종래의 산화물 반도체 기반의 포토트랜지스터의 단면을 나타낸 도면이다.
- [0024] 도 1을 참조하면, 종래의 산화물 반도체 기반의 포토트랜지스터는 산화물 반도체 박막(예, 인듐 갈륨 징크 옥사이드 IGZO) 상에 증착된 금속 전극을 포함할 수 있다. 전극 사이의 산화물 반도체 박막에 광이 입사되면, 밸런스 밴드(VB)의 전자가 밴드갭을 극복하여 컨덕션 밴드(CB)로 넘어갈 수 있다.
- [0026] 도 2는 도 1의 포토트랜지스터의 에너지 밴드갭을 설명하기 위한 도면이다. 구체적으로, 도 2는 인듐 갈륨 징크 옥사이드를 포함하는 산화물 반도체 박막의 에너지 밴드갭 및 이에 따른 센싱 가능한 파장을 나타낸 도면이다.
- [0027] 도 2에 도시된 바와 같이, 인듐 갈륨 징크 옥사이드를 포함하는 산화물 반도체 박막의 밸런스 밴드 및 컨덕션 밴드 사이의 에너지 밴드갭은 3.0eV 이상일 수 있다. 따라서, 산화물 반도체 박막에 3.0eV 이상의 에너지를 갖는 광이 입사되어야 산화물 반도체 기반의 포토트랜지스터에 센싱될 수 있다.
- [0028] 도 2의 광 스펙트럼을 참조하면, 일반적인 근적외선은 대략 750nm 내지 1400nm 범위의 파장을 가져, 이에 따라 0.886eV 내지 1.653eV의 에너지를 가질 수 있다. 따라서, 산업에서 트랜지스터에 많이 사용되는 인듐 갈륨 징크 옥사이드를 포함하는 산화물 반도체 박막은 근적외선을 센싱하기에는 적합하지 않을 수 있다.
- [0029] 이와 같은 문제를 해결하기 위해, 본원 발명은 업컨버전 나노입자(UCNP: Upconversion Nanoparticle)을 이용하여 근적외선 센싱이 가능한 산화물 반도체 기반 포토트랜지스터를 제안한다. 도 3 내지 도 5를 참조하여 업컨버전 나노입자(UCNP)에 대해 설명한다.
- [0031] 도 3 내지 도 5는 업컨버전 나노입자(UCNP)를 설명하기 위한 도면이다.
- [0032] 도 3은 업컨버전 나노입자의 구성을 설명하기 위한 도면이고, 도 4는 업컨버전 나노입자의 구성 비율에 따른 방

출 파장을 나타낸 도면이고, 도 5는 업컨버전 나노입자의 효과를 시각적으로 확인할 수 있는 도면이다.

- [0033] 도 3을 참조하면, 업컨버전 나노입자는 증감제(sensitizer) 및 활성화제(activation)를 포함할 수 있다. 증감제는 근적외선을 흡수하고, 활성화제는 업컨버전된 빛을 방출할 수 있다. 업컨버전 나노입자에 포함된 증감제 및 활성화제의 비율에 따라 업컨버전 나노입자가 방출하는 파장이 달라질 수 있다. 이때, 상기 증감제는 이트륨(Y), 이터븀(Yb) 및 툴륨(Tm) 중 적어도 하나를 포함하고, 상기 활성화제는 툴륨(Tm) 또는 어븀(Er)을 포함할 수 있다. 그러나 이에 한정되지 않고 업컨버전 나노입자의 증감제 및 활성화제는 다른 물질을 포함할 수도 있다.
- [0034] 도 4를 참조하면, 업컨버전 나노입자의 증감제 및 활성화제의 비율(농도)에 따른 방출 파장을 확인할 수 있다. 예를 들어, 업컨버전 나노입자가 이터븀 20%, 툴륨 0.5%를 포함하는 경우, 약 350nm 및 450nm의 파장을 방출할 수 있다. 또한 예를 들어, 업컨버전 나노입자가 이터븀 20%, 어븀 2%를 포함하는 경우, 약 550nm의 파장을 방출할 수 있다. 또한 예를 들어, 업컨버전 나노입자가 어븀 30%, 툴륨 1%를 포함하는 경우, 약 550nm 및 650nm의 파장을 방출할 수 있다.
- [0035] 이때, UCNP에 포함된 증감제의 비율(농도)은 활성화제의 비율보다 더 클 수 있다. 증감제는 근적외선을 흡수하는 물질로서, 근적외선 센싱을 위한 포토트랜지스터에는 활성화제보다 중요한 역할을 수행할 수 있다.
- [0036] 도 5를 참조하면, 근적외선을 증감제 및 활성화제의 농도가 서로 상이한 업컨버전 나노입자 용액 2개에 조사했을 때, 각 업컨버전 나노입자 용액이 방출하는 파장이 상이한 것을 알 수 있다. 즉, 업컨버전 나노입자는 근적외선을 다른 파장대의 광(가시광 등)으로 변환할 수 있다.
- [0037] 이와 같이, 본원 발명은 더 높은 광자 에너지를 가지는 광을 방출할 수 있는 업컨버전 나노입자를 이용하여 근적외선 센싱이 가능한 산화물 반도체 기반의 포토트랜지스터를 제안한다.
- [0039] 도 6은 일 실시예에 따른 산화물 반도체 기반의 포토트랜지스터를 설명하기 위한 도면이다.
- [0040] 도 6을 참조하면, 일 실시예에 따른 산화물 반도체 기반의 포토트랜지스터는 기관(10), 산화물 반도체 박막(20), UCNP 레이어(30) 및 전극(40)을 포함할 수 있다.
- [0041] 기관은 산화물 박막 트랜지스터의 베이스로서, 여러 구성 요소들을 지지하는 역할을 수행할 수 있다. 예를 들어, 기관은 유리, 폴리이미드계 고분자, 폴리에스테르계 고분자, 실리콘계 고분자, 아크릴계 고분자, 폴리올레핀계 고분자 또는 이들의 공중합체로 이루어진 그룹으로부터 선택되는 어느 하나의 물질을 포함할 수 있다.
- [0042] 구체적으로, 기관은 폴리에스테르, 폴리비닐, 폴리카보네이트, 폴리에틸렌, 폴리아세테이트, 폴리이미드, 폴리에테르술폰, 폴리아크릴레이트, 폴리에틸렌나프탈레이트 및 폴리에틸렌에테르프탈레이트 중 적어도 하나를 포함할 수 있다.
- [0043] 기관 상에 게이트 전극이 형성될 수 있다. 구체적으로, 게이트 전극은 기관 상에 진공 증착법, 화학 기상 증착법, 물리 기상 증착법, 원자층 증착법, 유기 금속 화학 증착법, 플라즈마 화학 증착법, 분자선 성장법, 수소화물 기상 성장법, 스퍼터링, 스핀 코팅, 딥 코팅 및 존 캐스팅 중 적어도 하나의 방법을 이용하여 형성될 수 있으나, 이에 한정되지 않는다.
- [0044] 게이트 전극은 몰리브덴(Mo), 알루미늄(Al), 크롬(Cr), 금(Au), 티타늄(Ti), 니켈(Ni), 네오디뮴(Nd) 및 구리(Cu) 중 어느 하나 또는 이들의 조합으로 이루어질 수 있으나, 이에 한정되지 않는다. 도 6에는 게이트 전극이 p+-Si 물질로 이루어진 것을 도시했으나, 이에 한정되지 않는다.
- [0045] 게이트 전극 상에 절연층이 형성될 수 있다. 절연층은 게이트 전극과 다른 금속 레이어의 전기적 연결을 차단할 수 있다. 구체적으로, 절연층은 게이트 전극과 산화물 반도체 박막(20)의 전기적 연결을 차단하는 역할을 수행할 수 있다.
- [0046] 절연층은 게이트 전극 상에 진공 증착법, 화학 기상 증착법, 물리 기상 증착법, 원자층 증착법, 유기 금속 화학 증착법, 플라즈마 화학 증착법, 분자선 성장법, 수소화물 기상 성장법, 스퍼터링, 스핀 코팅, 딥 코팅 및 존 캐스팅 중 적어도 하나의 방법을 이용하여 형성될 수 있으나, 이에 한정되지 않는다. 바람직하게는, 공정의 복잡성을 피하기 위해, 게이트 전극의 형성 방법과 동일한 방법이 이용될 수 있다.
- [0047] 절연층은 실리콘옥사이드(SiO<sub>x</sub>), 실리콘나이트라이드(SiN<sub>x</sub>), 티타늄옥사이드(TiO<sub>x</sub>), 하프늄옥사이드(HfO<sub>x</sub>)와 같은 무기물 또는 폴리비닐알코올(PVA), 폴리비닐피롤리돈(PVP), 폴리메틸메타크릴레이트(PMMA)와 같은 유기물일 수 있으나, 이에 한정되지 않는다. 도 6에는 절연층이 실리콘옥사이드(SiO<sub>2</sub>)인 것을 도시했으나, 이에 한정되지 않는다.

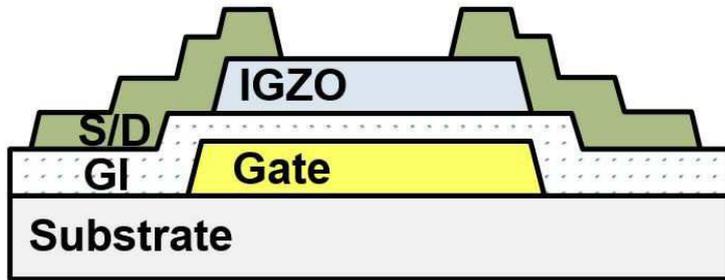
- [0048] 산화물 반도체 박막(20)은 절연층 상에 형성될 수 있다. 산화물 반도체 박막(20)은 절연층 스퍼터링 공정을 통해 증착될 수 있다. 산화물 반도체 박막(20)에는 절연층 상에 증착된 이후, 활성화(activation)를 위해 어닐링(annealing) 과정이 수행될 수 있다. 즉, 증착 이후, 산화물 반도체 박막(20)은 열처리를 통해 전기적으로 활성화될 수 있다.
- [0049] 산화물 반도체 박막(20) 상에 UCNP 레이어(30)가 형성될 수 있다. UCNP 레이어(30)는 업컨버전 나노입자를 포함하는 레이어일 수 있다. UCNP 레이어(30)의 생성방법은 도 7 내지 도 10을 참조하여 이하에서 자세히 설명한다.
- [0050] UCNP 레이어(30) 상에 전극(40)이 형성될 수 있다. 전극(40)은 UCNP 레이어(30) 상에 마스크를 사용하여 스퍼터링 공정을 통해 증착될 수 있다. 이때, 마스크는 소스-드레인 마스크로서 소스 전극 및 드레인 전극을 형성하기 위한 것일 수 있다.
- [0051] 전극(40)은 금속 물질로서, 알루미늄(Al), 알루미늄 합금(Al alloy), 텅스텐(W), 구리(Cu), 니켈(Ni), 크롬(Cr), 몰리브덴(Mo), 티타늄(Ti), 백금(Pt), 탄탈(Ta) 및 이들이 혼합된 물질일 수 있으나, 이에 한정되지 않는다. 도 6은 전극(40)이 알루미늄인 것을 도시했으나, 이에 한정되지 않는다.
- [0053] 도 7 내지 도 10은 일 실시예에 따른 산화물 반도체 기반의 포토트랜지스터를 제조하는 방법을 설명하기 위한 도면이다.
- [0054] 도 7을 참조하면, 일 실시예에 따른 산화물 반도체 기반의 포토트랜지스터를 제조하는 방법은 기판(10) 상에 산화물 반도체 박막(20)을 형성하는 단계를 포함할 수 있다. 예를 들어, 산화물 반도체 박막(20)을 형성하는 단계는 스퍼터링 공정을 이용하여 기판 상에 인듐 갈륨 징크 옥사이드(IGZO)를 증착시키는 단계일 수 있다.
- [0055] 도 8을 참조하면, 일 실시예에 따른 산화물 반도체 기반의 포토트랜지스터를 제조하는 방법은 산화물 반도체 박막(20) 상에 UCNP 용액을 도포하는 단계를 포함할 수 있다. 이후, 도포된 UCNP 용액이 산화물 반도체 박막(20)에 고르게 퍼지도록 하기 위해, UCNP 용액이 도포된 기판을 회전시키는 단계가 수행될 수 있다. 이때, 기판의 회전은 1000rpm의 속도로 30초 동안 진행될 수 있으나, 이에 한정되지 않는다.
- [0056] UCNP 용액을 도포하는 단계 이전에, UCNP 용액을 제조하는 단계를 더 포함할 수 있다. UCNP 용액을 제조하는 단계는 어플리케이션에 사용될 파장대에 따라 증감제 및 활성화제의 비율을 조절하는 단계일 수 있다. 구체적으로, UCNP 용액은 증감제를 제1 비율로 혼합하고, 활성화제를 제2 비율로 혼합하여 제조될 수 있다. 이때, 제1 비율 및 제2 비율은 UCNP를 통해 방출되는 빛의 파장대에 따라 설정될 수 있다.
- [0057] 도 9를 참조하면, 일 실시예에 따른 산화물 반도체 기반의 포토트랜지스터를 제조하는 방법은 회전을 통해 업컨버전 나노입자가 고르게 퍼진 UCNP 용액이 도포된 기판에 대해 어닐링을 수행하는 단계를 더 포함할 수 있다. 이때, 어닐링은 100도에서 10분 동안 수행될 수 있으나, 이에 한정되지 않는다. 어닐링 과정을 통해 일 영역이 산화되어 기능이 액티브될 수 있다.
- [0058] 도 10을 참조하면, 일 실시예에 따른 산화물 반도체 기반의 포토트랜지스터를 제조하는 방법은 어닐링이 수행된 UCNP 용액이 도포된 산화물 반도체 박막(20) 상에(UCNP 레이어(30) 상에) 전극(40)을 형성하는 단계를 더 포함할 수 있다. 전극(40)은 마스크를 통해 금속 물질에 의해 형성될 수 있다. 전극(40)은 이격되어 배치되는 제1 전극 및 제2 전극을 포함할 수 있다. 이때, 제1 전극은 소스 전극이며, 제2 전극은 드레인 전극일 수 있다.
- [0059] 도 7 내지 도 10의 제조 방법에 의해 제조된 산화물 반도체 기반의 포토트랜지스터는 업컨버전 나노입자(UCNP)를 포함하여, 근적외선을 센싱할 수 있다. 구체적으로, 근적외선이 업컨버전 나노입자에 조사되면, 업컨버전 나노입자는 입사된 광의 파장을 변경시켜 변경된 파장의 빛(예, 가시광선)을 방출할 수 있다. 즉, 업컨버전 나노입자는 포토트랜지스터가 센싱하지 못하는 빛을 센싱할 수 있는 빛으로 바꿀 수 있어, 결과적으로 포토트랜지스터가 근적외선을 감지할 수 있도록 한다.
- [0060] 이에, 본원 발명의 산화물 반도체 기반의 포토트랜지스터는 근적외선을 센싱할 수 있어, 생체 신호를 감지하는 센서 등으로 사용될 수 있다. 생체 신호 감지 센서로 산화물 반도체 기반의 포토트랜지스터를 사용하면, 센서 사이즈를 축소할 수 있어 사이즈 이득이 발생하고, 디스플레이와의 연동도 가능하여 다양한 어플리케이션에 적용될 수 있다.
- [0062] 도 11은 UCNP의 유무에 따른 포토트랜지스터의 성능을 비교하는 그래프이다.
- [0063] 도 11을 참조하면, UCNP를 이용하지 않는 포토트랜지스터는 오프 영역에서 전류가 감소하는 것을 알 수 있다. 반면 UCNP를 이용하는 포토트랜지스터는 근적외선을 감지할 수 있기 때문에, 오프 영역에서 오프 커런트가 발생

하여 전류가 증가하는 것을 알 수 있다. 따라서, UCNP를 사용함으로써 산화물 반도체 기반 포토트랜지스터 자체의 넓은 밴드갭에도 불구하고 근적외선을 센싱할 수 있다.

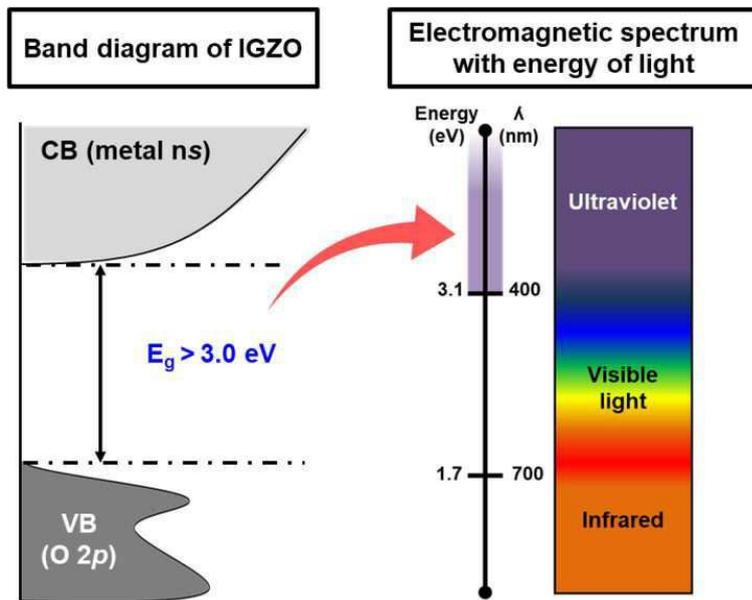
- [0065] 도 12는 UCNP의 유무에 따른 포토트랜지스터의 성능을 비교하는 표이다. 구체적으로, 도 12는 산화물 반도체 기반의 포토트랜지스터의 감광성(photosensitivity) 및 검출능(detectivity)을 기준으로 광 파장에 따른 결과를 나타내는 표이다.
- [0066] 도 12를 참조하면, UCNP를 이용하는 포토트랜지스터는 모든 파장대에서 감광성 및 검출능이 UCNP를 이용하지 않는 포토트랜지스터보다 최대 약 1000배 정도 좋은 것을 알 수 있다. 이에, 감광성 및 검출능 측면에서도 UCNP를 이용하는 포토트랜지스터의 성능이 우수한 것이 확인된다.
- [0068] 도 13은 일 실시예에 따른 산화물 반도체 기반의 포토트랜지스터를 이용한 센서를 설명하기 위한 도면이다.
- [0069] 도 13을 참조하면, 일 실시예에 따른 산화물 반도체 기반의 포토트랜지스터는 생체 신호를 감지하기 위한 센서에 적용될 수 있다. 센서는 레이저(100, 또는 광원) 및 포토트랜지스터(200)를 포함할 수 있다.
- [0070] 레이저(100)는 객체(300)에 근적외선을 조사할 수 있다. 구체적으로, 레이저(100)로부터 방출된 근적외선은 객체(300)의 피부 진피에 도달하여 혈관에 조사되고, 혈관에 의해 반사될 수 있다. 반사된 근적외선은 포토트랜지스터(200)에 입사될 수 있다. 이때, 포토트랜지스터(200)는 UCNP를 이용한 산화물 반도체 기반의 포토트랜지스터로서 근적외선을 센싱하게 된다. 이에, 포토트랜지스터의 센싱 결과에 기초하여 객체(300)의 심박수 등 생체 신호를 획득할 수 있다.
- [0071] 본원 발명의 산화물 반도체 기반의 포토트랜지스터는 생체 신호 감지를 위한 센서뿐만 아니라, 다른 어플리케이션에도 적용될 수 있다. 예를 들어, 본원 발명의 포토트랜지스터는 광전용적맥파, 인터랙티브 디스플레이, 비접촉형 PPG 센서, 포토게이팅 인버터(photogating inverter), NIR 이미징 장치, 보안 장치 등에 적용될 수 있다.
- [0073] 실시예에 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 실시예를 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 실시예의 동작을 수행하기 위해 하나 이상의 소프트웨어 모듈로서 작동하도록 구성될 수 있으며, 그 역도 마찬가지이다
- [0074] 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.
- [0075] 그러므로, 다른 구현들, 다른 실시예들 및 특허청구범위와 균등한 것들도 후술하는 특허청구범위의 범위에 속한다.

도면

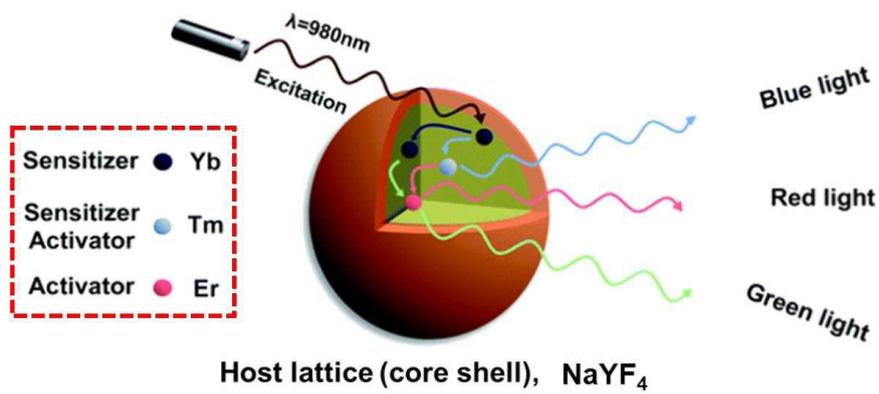
도면1



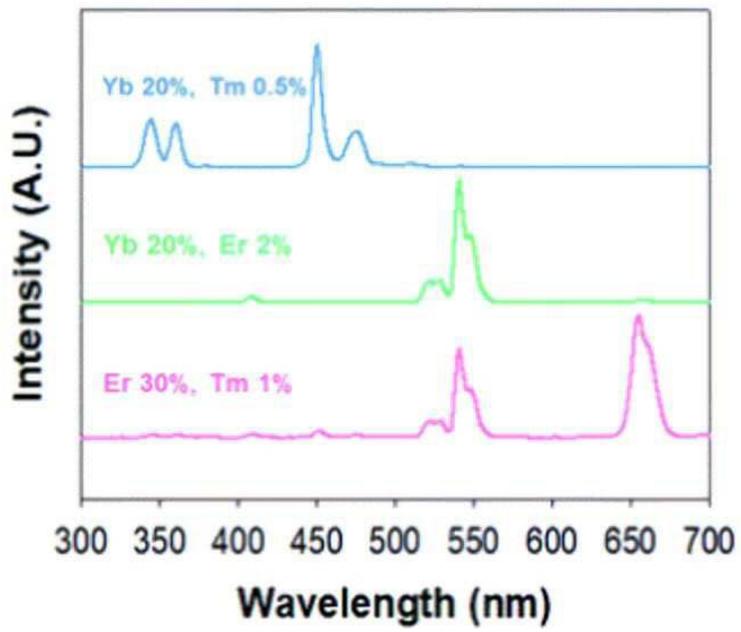
도면2



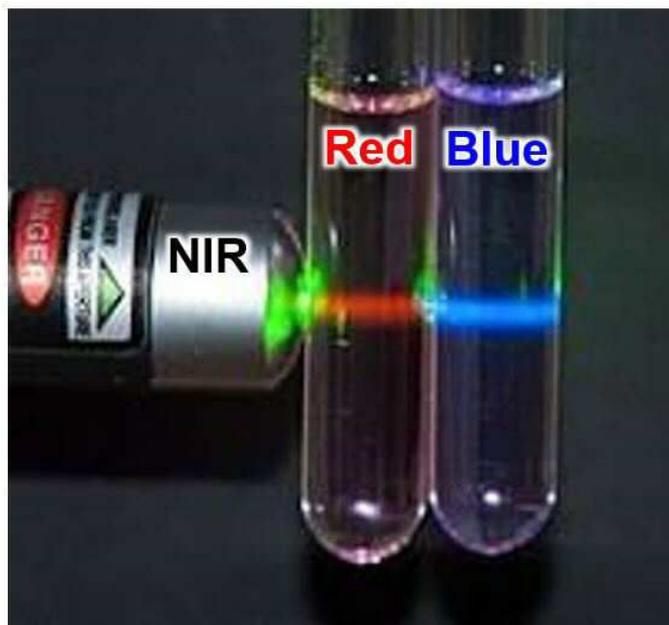
도면3



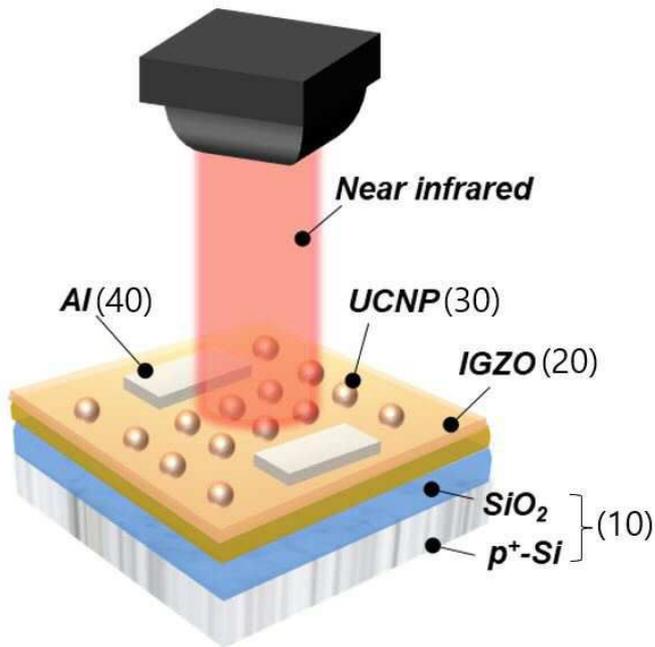
도면4



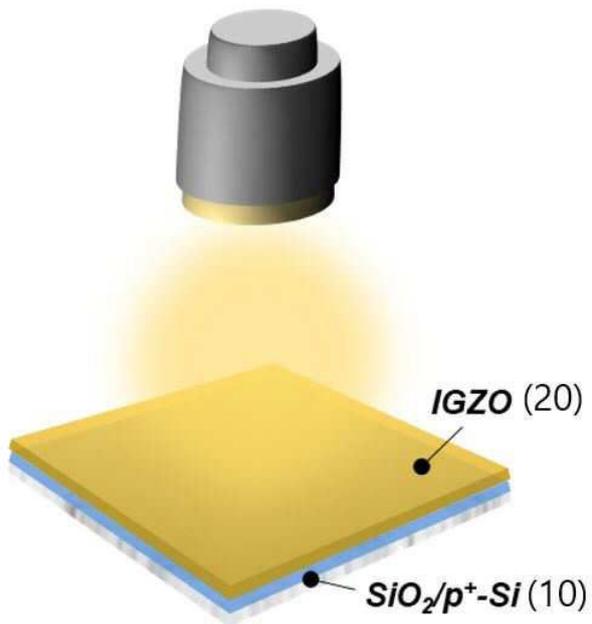
도면5



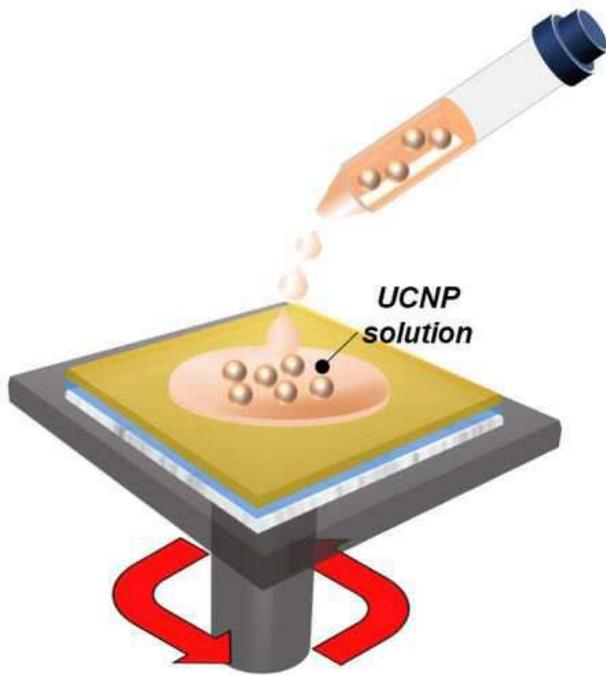
도면6



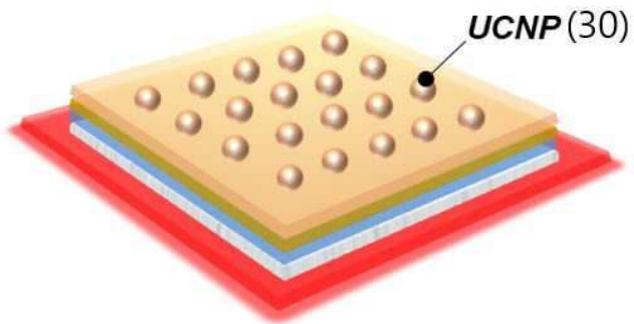
도면7



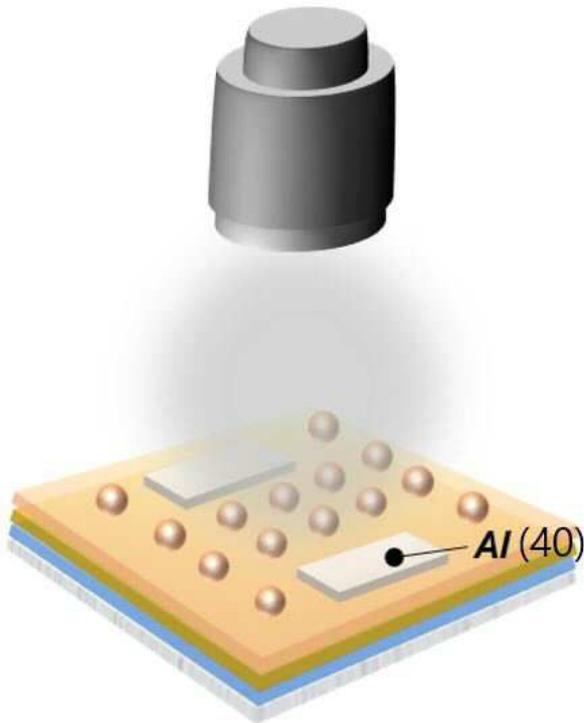
도면8



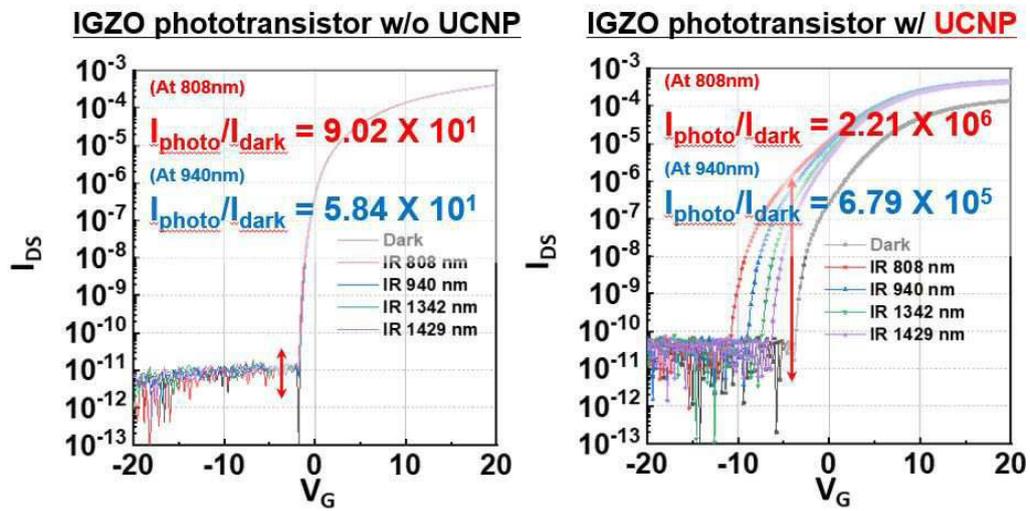
도면9



도면10



도면11



도면12

구분		IGZO phototransistor w/o UCNP	IGZO phototransistor w/ UCNP
808 nm (5mW/mm <sup>2</sup> )	Photosensitivity	9.02 X 10 <sup>1</sup>	2.21 X 10 <sup>6</sup>
	Detectivity (Jones)	2.99 × 10 <sup>7</sup>	2.79 × 10 <sup>10</sup>
940 nm (5mW/mm <sup>2</sup> )	Photosensitivity	8.85 X 10 <sup>1</sup>	6.79 X 10 <sup>5</sup>
	Detectivity (Jones)	9.37 X 10 <sup>6</sup>	8.55 × 10 <sup>9</sup>
1342 nm (5mW/mm <sup>2</sup> )	Photosensitivity	8.57 X 10 <sup>1</sup>	9.76 X 10 <sup>4</sup>
	Detectivity (Jones)	8.88 X 10 <sup>6</sup>	2.08 × 10 <sup>9</sup>
1429 nm (5mW/mm <sup>2</sup> )	Photosensitivity	5.84 X 10 <sup>1</sup>	6.74 X 10 <sup>3</sup>
	Detectivity (Jones)	1.52 X 10 <sup>6</sup>	7.80 × 10 <sup>8</sup>

도면13

