



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2020-0021623
(43) 공개일자 2020년03월02일

- (51) 국제특허분류(Int. Cl.)
H01L 31/08 (2006.01) G06N 3/063 (2006.01)
H01L 31/0224 (2006.01) H01L 31/032 (2006.01)
- (52) CPC특허분류
H01L 31/08 (2013.01)
G06N 3/063 (2013.01)
- (21) 출원번호 10-2018-0097164
(22) 출원일자 2018년08월21일
심사청구일자 2018년08월21일
- (71) 출원인
인천대학교 산학협력단
인천광역시 연수구 아카데미로 119 (송도동)
- (72) 발명자
김준동
인천광역시 연수구 컨벤시아대로274번길 15, 230
4동 1001호(송도동, 송도 더샵 마스터뷰 23-1BL)
쿠마르 모히트
인천광역시 연수구 학나래로5번길 46, 202호(선학
동)
반동균
인천광역시 연수구 학나래로6번길 24(선학동)
- (74) 대리인
특허법인가산

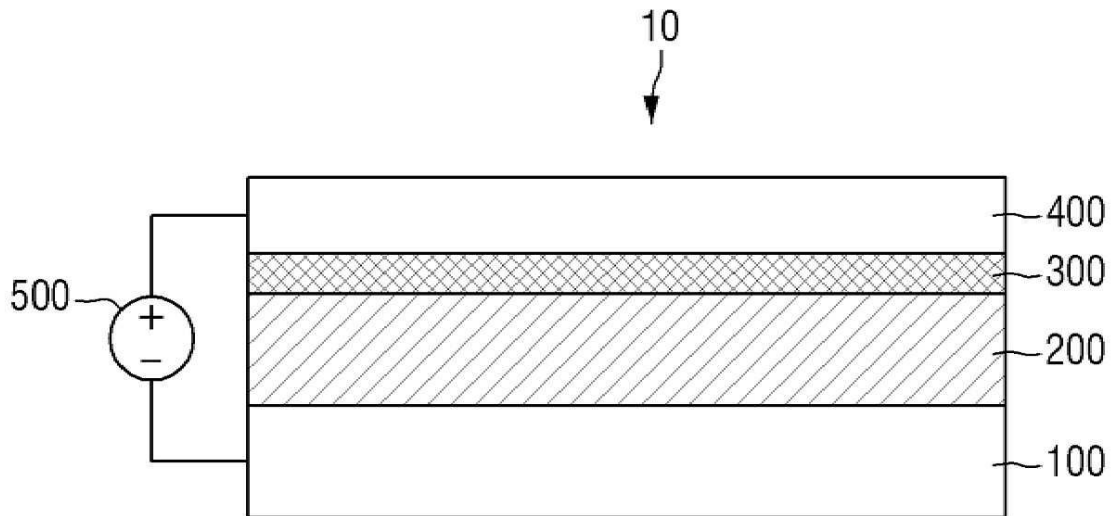
전체 청구항 수 : 총 12 항

(54) 발명의 명칭 투명 뉴로모픽 센서

(57) 요약

투명 뉴로모픽 센서를 제공한다. 상기 투명 뉴로모픽 센서는 제1 투명 전도체막, 상기 제1 전도체막 상에 형성되고, 입사광에 의해서 전기 스파이크를 생성하는 아연 산화막, 상기 아연 산화막 상에 형성되는 바나듐 산화막 및 상기 바나듐 산화막 상에 형성되는 제2 투명 전도체막을 포함한다.

대표도 - 도1



(52) CPC특허분류

H01L 31/022475 (2013.01)

H01L 31/022483 (2013.01)

H01L 31/032 (2013.01)

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호 201801620001

부처명 미래창조과학부

연구관리전문기관 한국연구재단

연구사업명 일반연구자사업

연구과제명 투명 태양광 발전 플랫폼 구축

기 여 율 1/2

주관기관 인천대학교

연구기간 2018.06.01 ~ 2019.05.31

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호 201801580001

부처명 미래창조과학부

연구관리전문기관 한국연구재단

연구사업명 일반연구자사업

연구과제명 신경 회로망 적용을위한 광전자 커플 링 저전력 투명한 저항성 스위칭 디바이스

기 여 율 1/2

주관기관 인천대학교

연구기간 2018.06.01 ~ 2019.02.28

명세서

청구범위

청구항 1

제1 투명 전도체막;

상기 제1 전도체막 상에 형성되고, 입사광에 의해서 전기 스파이크(spike)를 생성하는 아연 산화막;

상기 아연 산화막 상에 형성되는 바나듐 산화막; 및

상기 바나듐 산화막 상에 형성되는 제2 투명 전도체막을 포함하는 투명 뉴로모픽 센서.

청구항 2

제1 항에 있어서,

상기 바나듐 산화막은 V_2O_5 를 포함하는 투명 뉴로모픽 센서.

청구항 3

제1 항에 있어서,

상기 제1 및 제2 투명 전도체막은 각각 ITO, FTO, 금속 나노와이어 및 유기물 도전체(PEDOT) 중 적어도 하나를 포함하는 투명 뉴로모픽 센서.

청구항 4

제1 항에 있어서,

상기 아연 산화막 및 상기 바나듐 산화막은 투명한 투명 뉴로모픽 센서.

청구항 5

제1 항에 있어서,

상기 제1 투명 전도체막 및 상기 제2 투명 전도체막에 연결되어 외부 전압을 인가하는 전원을 더 포함하는 투명 뉴로모픽 센서.

청구항 6

제5 항에 있어서,

상기 스파이크의 크기는 상기 외부 전압의 크기에 따라 달라지는 투명 뉴로모픽 센서.

청구항 7

제5 항에 있어서,

상기 스파이크의 생성 주기는 상기 외부 전압의 크기에 따라 달라지는 투명 뉴로모픽 센서.

청구항 8

제7 항에 있어서,

상기 스파이크의 응답 시간은 상기 외부 전압이 커질수록 커지는 투명 뉴로모픽 센서.

청구항 9

제1 항에 있어서,

상기 아연 산화막은 제1 두께를 가지고,

상기 스파이크의 크기는 상기 제1 두께에 따라 결정되는 투명 뉴로모픽 센서.

청구항 10

입사광에 의해서 전기 스파이크를 생성하고, 제1 두께로 형성되는 아연 산화막;

상기 아연 산화막 상에 형성되고, 제2 두께로 형성되는 바나듐 산화막; 및

외부 전압이 인가되고, 상기 아연 산화막의 아래와 상기 바나듐 산화막 상에 각각 형성되는 제1 및 제2 투명 전도체막을 포함하는 투명 뉴로모픽 센서.

청구항 11

제10 항에 있어서,

상기 제2 두께는 제1 두께보다 작은 투명 뉴로모픽 센서.

청구항 12

제10 항에 있어서,

상기 바나듐 산화막은 상기 아연 산화막에서 발생되어 상기 제2 투명 전도체막으로 향하는 전자의 흐름을 차단하는 투명 뉴로모픽 센서.

발명의 설명

기술 분야

[0001] 본 발명은 투명 뉴로모픽 센서에 관한 것이다.

배경 기술

[0002] 전자 장치를 이용한 스파이크 신호 생성은 현재의 폰 노이만(van Neumann) 구조의 한계를 극복하기 위해 즉각적으로 요구되는 뉴로모픽(neuromorphic 컴퓨팅의 구축에 대한 희망적인 접근 방법 중 하나이다.

[0003] 일반적으로 CMOS(complementary metal-oxide-semiconductor), 상 변화 메모리, 초고속 레이저, 유기 광 검출기 등 다양한 방법과 접근법이 스파이크 생성에 적용된다.

[0004] 이 외에도, 광 유도 스파이크 생성의 고유한 특성을 가진 광 검출기는 사람의 눈 망막의 기능을 모방하는 이상적인 시스템으로 간주될 수 있다. 그러나 유기(Organic) 광 검출기는 장기 안정성을 가지지 못한다. 상기 장기 안정성은 안정적이고 제어 가능한 광 트리거 스파이크 발생기를 요구한다.

선행기술문헌

특허문헌

[0005] (특허문헌 0001) 공개특허공보 제10-2018-0057384 호

발명의 내용

해결하려는 과제

[0006] 본 발명이 해결하고자 하는 과제는 완전 투명한 뉴로모픽 센서를 제공하는 것이다.

[0007] 본 발명이 해결하고자 하는 과제들은 이상에서 언급한 과제들로 제한되지 않으며, 언급되지 않은 또 다른 과제들은 아래의 기재로부터 당업자에게 명확하게 이해될 수 있을 것이다.

과제의 해결 수단

[0008] 상기 과제를 해결하기 위한 본 발명의 일 실시예에 따른 투명 뉴로모픽 센서는 제1 투명 전도체막, 상기 제1 전도체막 상에 형성되고, 입사광에 의해서 전기 스파이크를 생성하는 아연 산화막, 상기 아연 산화막 상에 형성되는 바나듐 산화막 및 상기 바나듐 산화막 상에 형성되는 제2 투명 전도체막을 포함한다.

[0009] 상기 과제를 해결하기 위한 본 발명의 일 실시예에 따른 투명 뉴로모픽 센서는 입사광에 의해서 전기 스파이크를 생성하고, 제1 두께로 형성되는 아연 산화막, 상기 아연 산화막 상에 형성되고, 제2 두께로 형성되는 바나듐 산화막 및 외부 전압이 인가되고, 상기 아연 산화막의 아래와 상기 바나듐 산화막 상에 각각 형성되는 제1 및 제2 투명 전도체막을 포함한다.

[0010] 기타 실시예들의 구체적 사항들은 상세한 설명 및 도면들에 포함되어 있다.

발명의 효과

[0011] 본 발명의 몇몇 실시예에 따른 뉴로모픽 센서는 완전 투명하여 인공 눈이나 아이 프로텍터 등의 분야에 활용할 수 있다.

[0012] 또한, 외부 전원 없이 동작할 수 있고, 사람의 뉴런 신호의 리텐션 타임과 유사한 리텐션 타임을 가질 수 있다.

[0013] 본 발명에 따른 효과는 이상에서 예시된 내용에 의해 제한되지 않으며, 더욱 다양한 효과들이 본 명세서 내에 포함되어 있다.

도면의 간단한 설명

[0014] 도 1은 본 발명의 몇몇 실시예들에 따른 투명 뉴로모픽 센서를 설명하기 위한 단면도이다.

도 2는 인간 눈의 스파이크 생성을 설명하기 위한 개념도이다.

도 3은 탈분극(depolarization) 및 재분극(repolarization)을 통한 인체 내의 활동 전위 생성(action potential generation)을 설명하기 위한 개념도이다.

도 4는 본 발명의 몇몇 실시예들에 따른 투명 뉴로모픽 센서의 광 유도 스파이크 생성(photo-induced spike generation)을 설명하기 위한 개념도이다.

도 5는 본 발명의 몇몇 실시예들에 따른 투명 뉴로모픽 센서의 광 유도 초전기성 전위를 설명하기 위한 개념도이다.

도 6은 본 발명의 실시예 1의 밴드 다이어그램(band diagram)을 도시한 도면이다.

도 7은 본 발명의 실시예 1의 단면을 설명하기 위한 SEM(Scanning Electron Microscope) 이미지이다.

도 8은 도 7의 단면을 가로지르는 EDS(Energy Dispersive Spectrometry) 라인 프로필을 도시한 도면이다.

도 9a는 본 발명의 실시예 1의 암(Dark) 조건과 자외선(UV) 조사 조건에서의 전류 전압 특성을 도시한 그래프이다.

도 9b는 도 9a를 확대한 그래프이다.

도 10은 본 발명의 실시예 1의 투명 상태를 설명하기 위한 이미지이다.

도 11은 본 발명의 실시예 1의 자기 바이어스(self-biased) 광 응답을 설명하기 위한 그래프이다.

도 12는 본 발명의 실시예 1의 입사광의 강도에 따른 스파이크 생성을 설명하기 위한 그래프이다.

도 13은 본 발명의 실시예 1에 0.6mWcm^{-2} 의 입사광을 조사할 때의 광 응답을 설명하기 위한 그래프이다.

도 14는 본 발명의 실시예 1에 4mWcm^{-2} 의 입사광을 조사할 때의 광 응답을 설명하기 위한 그래프이다.

도 15는 본 발명의 실시예 1에 인가되는 전압에 따른 스파이크 생성을 설명하기 위한 그래프이다.

도 16은 본 발명의 실시예 1에 인가되는 전압에 따른 스파이크의 업 및 다운 피크의 크기를 설명하기 위한 그래프이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

- [0015] 본 발명의 이점 및 특징, 그리고 그것들을 달성하는 방법은 첨부되는 도면과 함께 상세하게 후술되어 있는 실시예들을 참조하면 명확해질 것이다. 그러나 본 발명은 이하에서 개시되는 실시예들에 한정되는 것이 아니라 서로 다른 다양한 형태로 구현될 것이며, 단지 본 실시예들은 본 발명의 개시가 완전하도록 하며, 본 발명이 속하는 기술분야에서 통상의 지식을 가진 자에게 발명의 범주를 완전하게 알려주기 위해 제공되는 것이며, 본 발명은 청구항의 범주에 의해 정의될 뿐이다. 명세서 전체에 걸쳐 동일 참조 부호는 동일 구성 요소를 지칭한다.
- [0016] 비록 제1, 제2 등이 다양한 소자, 구성요소 및/또는 섹션들을 서술하기 위해서 사용되나, 이들 소자, 구성요소 및/또는 섹션들은 이들 용어에 의해 제한되지 않음은 물론이다. 이들 용어들은 단지 하나의 소자, 구성요소 또는 섹션들을 다른 소자, 구성요소 또는 섹션들과 구별하기 위하여 사용하는 것이다. 따라서, 이하에서 언급되는 제1 소자, 제1 구성요소 또는 제1 섹션은 본 발명의 기술적 사상 내에서 제2 소자, 제2 구성요소 또는 제2 섹션일 수도 있음은 물론이다.
- [0017] 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.
- [0018] 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 놓일 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.
- [0019] 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.
- [0020] 다른 정의가 없다면, 본 명세서에서 사용되는 모든 용어(기술 및 과학적 용어를 포함)는 본 발명이 속하는 기술분야에서 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.
- [0021] 이하, 도 1을 참조하여 본 발명의 몇몇 실시예에 따른 투명 뉴로모픽 센서를 설명한다.
- [0022] 도 1은 본 발명의 몇몇 실시예들에 따른 투명 뉴로모픽 센서를 설명하기 위한 단면도이다.
- [0023] 도 1을 참조하면, 본 발명의 몇몇 실시예들에 따른 투명 뉴로모픽 센서(10)는 제1 투명 전도체막(100), 아연 산화막(200), 바나듐 산화막(300), 제2 투명 전도체막(400) 및 전원(500)을 포함한다.
- [0024] 제1 투명 전도체막(100)은 투명한 전도체를 포함할 수 있다. 제1 투명 전도체막(100)은 아연 산화막(200)의 하부에서 형성될 수 있다. 제1 투명 전도체막(100)은 예를 들어, ITO(Indium Tin Oxide), FTO(Fluorine Tin Oxide), 금속성 나노와이어 및 유기물 도전체(PEDOT)와 같은 투명한 전도체를 포함할 수 있다. 단, 본 실시예가 이에 제한되는 것은 아니다.
- [0025] 아연 산화막(200)은 제1 투명 전도체막(100) 상에 형성될 수 있다. 아연 산화막(200)은 예를 들어, ZnO를 포함할 수 있다. 아연 산화막(200)은 외부에서 입사광을 수용하여 전기적 스파이크(spike)를 생성할 수 있다. 아연 산화막(200)은 초전성 물질(pyroelectric material)이므로, 온도가 변하면 전기 분극이 발생할 수 있다.
- [0026] 초전성 물질이란 결정의 일부를 가열했을 때 결정 표면에 전하가 나타나는 물질로, 온도변화에 의해서 생기는 자발분극이 나타나는 물질을 의미한다.
- [0027] 이에 따라서, 아연 산화막(200)은 입사광에 의해서 광 유도 초전성 전위(photo-induced pyroelectric potential)를 생성할 수 있고, 이에 따라서 전기적 스파이크가 생성될 수 있다.
- [0028] 아연 산화막(200)은 투명할 수 있다. 이에 따라서, 아연 산화막(200)은 외부에서 입사된 입사광을 투과시킬 수 있다.

- [0029] 바나듐 산화막(300)은 아연 산화막(200) 상에 형성될 수 있다. 바나듐 산화막(300)은 예를 들어, V_2O_5 를 포함할 수 있다. 바나듐 산화막(300)은 아연 산화막(200) 상에서 아연 산화막(200)의 위로 향하는 전자 흐름을 차단할 수 있다. 바나듐 산화막(300)의 차단 작용에 의해서 아연 산화막(200)이 생성하는 스파이크가 분산되지 않고 집중될 수 있다.
- [0030] 바나듐 산화막(300)의 두께는 아연 산화막(200)보다 작을 수 있다. 바나듐 산화막(300)은 전자 흐름을 차단하기 위한 부분이므로 굳이 큰 두께를 가질 필요가 없다. 대신 아연 산화막(200)은 입사광을 수용하여 스파이크를 생성하는 부분이므로 일정 두께 이상으로 형성되어야 한다. 단, 본 실시예가 이에 제한되는 것은 아니다.
- [0031] 바나듐 산화막(300)은 투명할 수 있다. 따라서, 입사광이 바나듐 산화막(300)을 투과하여 아연 산화막(200)에 도달할 수 있다.
- [0032] 제2 투명 전도층막(400)은 바나듐 산화막 상에 형성될 수 있다. 제2 투명 전도층막(400)은 투명한 전도층을 포함할 수 있다. 제2 투명 전도층막(400)은 아연 산화막(200)의 하부에서 형성될 수 있다. 제2 투명 전도층막(400)은 예를 들어, ITO, FTO, 금속성 나노와이어 및 유기물 도전체(PEDOT)와 같은 투명한 전도층을 포함할 수 있다. 단, 본 실시예가 이에 제한되는 것은 아니다. 제2 투명 전도층막(400)은 제1 투명 전도층막(100)과 동일한 물질을 포함할 수 있다. 제2 투명 전도층막(400)은 바나듐 산화막(300)보다 더 두꺼울 수 있다. 바나듐 산화막(300)은 결과적으로 본 발명의 몇몇 실시예들에 따른 투명 뉴로모픽 센서(10)의 구성막 중에 가장 얇을 수 있다.
- [0033] 제2 투명 전도층막(400)은 투명한 물질을 포함하므로 입사광을 투과시켜 하부에 있는 바나듐 산화막(300) 및 아연 산화막(200)에 도달하게 할 수 있다.
- [0034] 제1 투명 전도층막(100), 제2 투명 전도층막(400), 아연 산화막(200) 및 바나듐 산화막(300)이 모두 투명하므로, 본 발명의 몇몇 실시예들에 따른 투명 뉴로모픽 센서(10)는 완전히 투명할 수 있다. 이에 따라서, 투명 뉴로모픽 센서(10)는 인공 눈이나 아이 프로텍터(eye protector)로서 활용될 수 있다.
- [0035] 전원(500)은 제1 투명 전도층막(100) 및 제2 투명 전도층막(400)에 연결되어 외부 전압을 인가할 수 있다. 본 발명의 몇몇 실시예들에 따른 투명 뉴로모픽 센서(10)는 외부 전압의 인가 없이도 동작하는 자가 바이어스(self-biased) 장치일 수 있으나, 외부 전압에 따라서, 다른 전기적 특성이 조절될 수 있다.
- [0036] 도 2는 인간 눈의 스파이크 생성을 설명하기 위한 개념도이다.
- [0037] 도 2를 참조하면, 인간 눈의 망막은 입사 광자 신호(Incidence photon signal)를 받아 전기적 스파이크(Electric spike)를 생성할 수 있다.
- [0038] 도 3은 탈분극(depolarization) 및 재분극(repolarization)을 통한 인체 내의 활동 전위 생성(action potential generation)을 설명하기 위한 개념도이고, 도 4는 본 발명의 몇몇 실시예들에 따른 투명 뉴로모픽 센서의 광 유도 스파이크 생성(photo-induced spike generation)을 설명하기 위한 개념도이다.
- [0039] 도 3 및 도 4를 참조하면, 세포 몸체 내의 전위 발생(전압 스파이크)의 작용은 칼륨과 나트륨 이온 채널을 통한 이온 이동에 의해 지배되며, 이는 분극 전류가 갑자기 충전 또는 방전되는 것을 허용하거나 방지한다. 이러한 스파이크는 자연계에서 연산을 위한 핵심 요소(key element)로 간주된다. 따라서 유사한 종류의 스파이크를 생성할 수 있는 광 검출기(photodetector)는 생물학적 시스템과 유사하고, 뉴로모픽 센서로 활용될 수 있다.
- [0040] 도 5는 본 발명의 몇몇 실시예들에 따른 투명 뉴로모픽 센서의 광 유도 초전기성 전위를 설명하기 위한 개념도이다.
- [0041] 도 5를 참조하면, 본 발명의 몇몇 실시예들에 따른 투명 뉴로모픽 센서는 빛이 켜지면(Light ON) 광 유도 분극(photo-induced polarization)에 의한 추가 전위가 생성되어 전류 신호가 강화된다. 반면에, 반대 전위는 빛이 꺼진 상태(Light OFF)에 대해 탈분극(Depolarization)이 생성되어, 스파이크 방향의 반전을 초래한다.
- [0042] 본 발명의 몇몇 실시예들에 따른 투명 뉴로모픽 센서의 광 유도에 의한 즉각적인 전위는 전류 스파이크 생성의 중요한 역할을 효과적으로 수행한다. 나아가, 모든 막이 산화물로 형성된 투명 장치에 의한 스파이크 생성은 시스루(see-through) 뉴로모픽 소자를 디자인하는 데 유용하다.

[0044] 실시예 1

- [0045] 초음파 세정된 유리 기판 상에 ITO 타겟을 사용하여 300W의 전력으로 DC 스퍼터링을 하여 제1 투명 전도체막으로 ITO를 증착시켰다. 증착 동안, 아르곤과 산소의 유량은 각각 30sccm 및 0.3 sccm으로 유지하여 5 mTorr의 작동 압력을 달성하였다. 99% 순수한 ZnO 타겟을 사용하여 작동압력 5 mTorr 및 RF 전력 300W에서 50sccm의 유량으로 산화 아연막을 얇게 성장시켰다. 바나듐 산화막의 증착은 리액티브 스퍼터링을 통해 수행되었다. 아르곤과 산소의 유량을 각각 30 sccm과 2sccm으로 유지하고, 300W의 RF 전력을 사용하여 바나듐 타겟 (99.99 % 순수)으로부터 V_2O_5 상을 획득하였다. 바나듐 산화막 상에 제2 투명 전도체막으로 ITO를 제1 투명 전도체막과 동일하게 증착시켰다.
- [0046] 도 6은 본 발명의 실시예 1의 밴드 다이어그램(band diagram)을 도시한 도면이다.
- [0047] 도 6을 참조하면, 본 발명의 실시예 1은 홀 선택 특성(hole selective nature)을 가진다. 실제로, 바나듐 산화막은 상부 ITO로의 전자 흐름을 차단하므로 본 발명의 몇몇 실시예들에 따른 투명 뉴로모픽 센서는 자외선(UV) 광 검출기로 사용되는 것이 더 적합하다. 이러한 이중 접합은 공유 결합에 의해서 형성될 수 있다.
- [0048] 도 7은 본 발명의 실시예 1의 단면을 설명하기 위한 SEM(Scanning Electron Microscope) 이미지이고, 도 8은 도 7의 단면을 가로지르는 EDS(Energy Dispersive Spectrometry) 라인 프로필을 도시한 도면이다.
- [0049] 도 7에서는 서로 다른 물질이 서로 다른 채도로 나타난 것을 확인할 수 있다. 도 8을 참조하면, ITO와 ZnO 사이에 위치한 V_2O_5 의 존재는 EDS 라인 프로필에서 확인할 수 있다.
- [0051] **실험예 1**
- [0052] 본 발명의 몇몇 실시예들에 따른 투명 뉴로모픽 센서의 전기적 특성을 확인하기 위해서 암(Dark) 조건과 자외선 조사(UV illumination) 조건 하에서 전압 전류 특성을 측정하였다.
- [0053] 도 9a는 본 발명의 실시예 1의 암(Dark) 조건과 자외선(UV) 조사 조건에서의 전류 전압 특성을 도시한 그래프이고, 도 9b는 도 9a를 확대한 그래프이다.
- [0054] 도 9a 및 도 9b는 365 nm의 입사광을 4 mW cm^{-2} 의 강도로 조사한 경우에서의 전류-전압 특성이다. 본 발명의 실시예 1의 투명 뉴로모픽 센서는 자외선 조사 조건 하에서도 중요한 변화를 보여줄 뿐만 아니라 암 조건 하에서도 자기 바이어스된 광 검출기로의 성능을 명백하게 보여준다.
- [0055] 도 10은 본 발명의 실시예 1의 투명 상태를 설명하기 위한 이미지이다.
- [0056] 도 10을 참조하면, 본 발명의 실시예 1은 완전히 투명한 상태임을 확인할 수 있다. 이에 따라서, 본 발명의 실시예 1은 인공 눈이나 눈 위에 착용되는 아이 프로텍터로의 활용도 가능할 수 있다.
- [0057] 도 11은 본 발명의 실시예 1의 자기 바이어스(self-biased) 광 응답을 설명하기 위한 그래프이다. 도 11은 시간에 따른 광전류를 도시하였다.
- [0058] 도 11을 참조하면, 본 발명의 실시예 1의 투명 뉴로모픽 센서는 광전류와 초전성 스파이크가 결합된 응답(Photo+pyroelectric spike)을 보여준다. 이는 광 유도 초전성 전위에 기인한다. 또한, 스파이크의 특성 감쇠시간은 생체 시냅스(bio-synapses)의 밀리초(millisecond) 단위의 응답시간과 일치할 수 있다.
- [0060] **실험예 2**
- [0061] 실시예 1의 스파이크의 광 강도에 따른 변화를 살펴보기 위해 광 강도를 변화시켜 스파이크를 측정하였다. 본 실험예에서는 측정 중에 LED에서 조사되는 입사광의 강도가 계속 증가될 수 있다. 나아가,
- [0062] 도 12는 본 발명의 실시예 1의 입사광의 강도에 따른 스파이크 생성을 설명하기 위한 그래프이다.
- [0063] 도 12를 참조하면, 전류는 실시예 1의 선형 동작 범위(linear dynamic range) 때문에 더 높은 강도의 입사광이 조사되면 포화 상태에 도달할 수 있다. 명백하게 스파이크들은 입사광의 강도와 무관하게 항상 생성되지만, 스파이크들의 크기는 다양할 수 있다. 또한, 상기 스파이크들의 피크는 실시예 1의 각각의 막(아연 산화막, 바나듐 산화막, ITO막)의 두께와 무관하게 생성되지만, 상기 피크의 크기는 상기 각각의 막의 두께에 따라 달라질 수 있다.

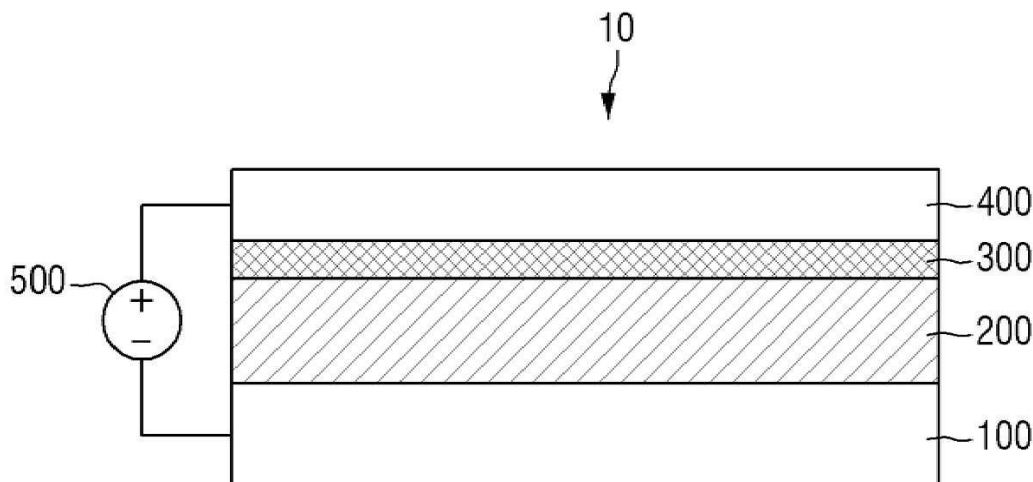
- [0064] 도 13은 본 발명의 실시예 1에 0.6mWcm^{-2} 의 입사광을 조사할 때의 광 응답을 설명하기 위한 그래프이고, 도 14는 본 발명의 실시예 1에 4mWcm^{-2} 의 입사광을 조사할 때의 광 응답을 설명하기 위한 그래프이다.
- [0065] 도 13 및 도 14를 참조하면, 0.6mWcm^{-2} 의 입사광을 조사할 때 실시예 1의 광전류와 스파이크의 크기는 $5\text{ }\mu\text{A}$ 와 $22\text{ }\mu\text{A}$ 이다. 이에 반해서, 4mWcm^{-2} 의 입사광을 조사할 때 실시예 1의 광전류와 스파이크의 크기는 $7\text{ }\mu\text{A}$ 와 $91\text{ }\mu\text{A}$ 로 증가한다는 것을 확인할 수 있다.
- [0066] 또한, 실시예 1의 투명 뉴로모픽 센서의 응답 시간은 약 $72\text{ }\mu\text{s}$ 이며, 외부 전압이 인가되면 1.2 ms 까지 증가한다.
- [0067] 도 15는 본 발명의 실시예 1에 인가되는 전압에 따른 스파이크 생성을 설명하기 위한 그래프이다. 도 15에서 인가 전압은 0.2V (빨간선), 0V (노란선), -0.2V (파란선)이다.
- [0068] 도 15를 참조하면, 실시예 1의 광응답의 피크는 인가된 전위가 0.2V 에서 -0.2V 까지 변화함에 따라서 변한다. 이는 또한 실시예 1의 광응답과 외부 전위와의 반응성을 확인시켜줄 수 있다.
- [0069] 도 16은 본 발명의 실시예 1에 인가되는 전압에 따른 스파이크의 업 및 다운 피크의 크기를 설명하기 위한 그래프이다.
- [0070] 도 16을 참조하면, 스파이크의 크기뿐만 아니라 스파이크 사이의 간격들(즉, 주기)은 매우 크게 인가 전압에 영향을 받을 수 있다. 따라서, 실시예 1의 투명 뉴로모픽 센서는 뉴로모픽 연산에의 응용에 더욱 적절하게 조율될 수 있다.
- [0071] 외부 전압을 인가함으로써 관찰된 펄스 모양의 변화는 내장형 광 유도 식 초전도체 및 외부 전압에 따른 여러 영향이 결합되어 도래될 수 있다.
- [0072] 이상 실험예 및 첨부된 도면을 참조하여 본 발명의 실시예들을 설명하였지만, 본 발명이 속하는 기술분야에서 통상의 지식을 가진 자는 본 발명의 그 기술적 사상이나 필수적인 특징을 변경하지 않고서 다른 구체적인 형태로 실시될 수 있다는 것을 이해할 수 있을 것이다. 그러므로 이상에서 기술한 실시예들은 모든 면에서 예시적인 것이며 한정적이 아닌 것으로 이해해야만 한다.

부호의 설명

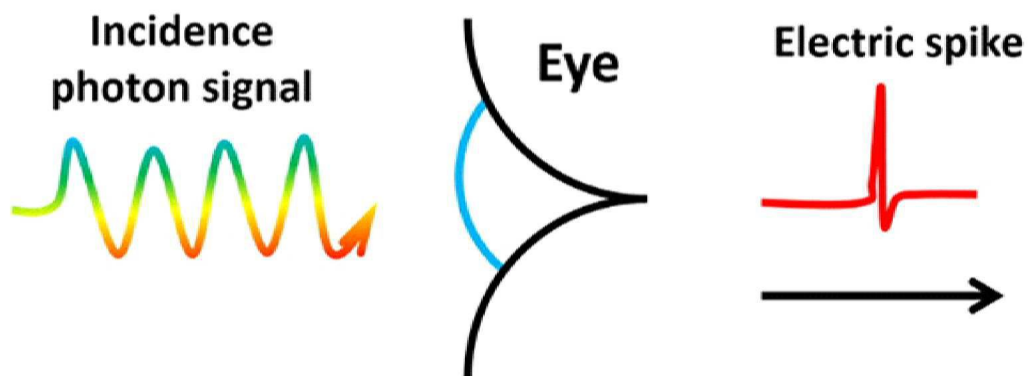
- [0073] 100: 제1 투명 전도체막 200: 아연 산화막
300: 바나듐 산화막 400: 제2 투명 전도체막

도면

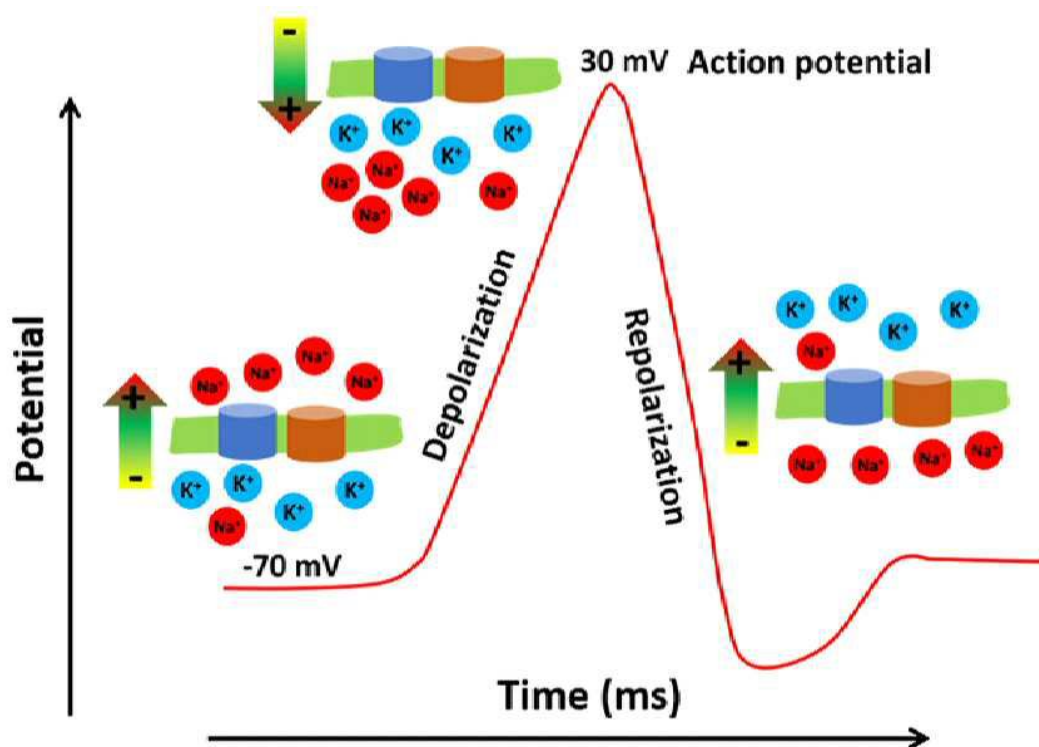
도면1



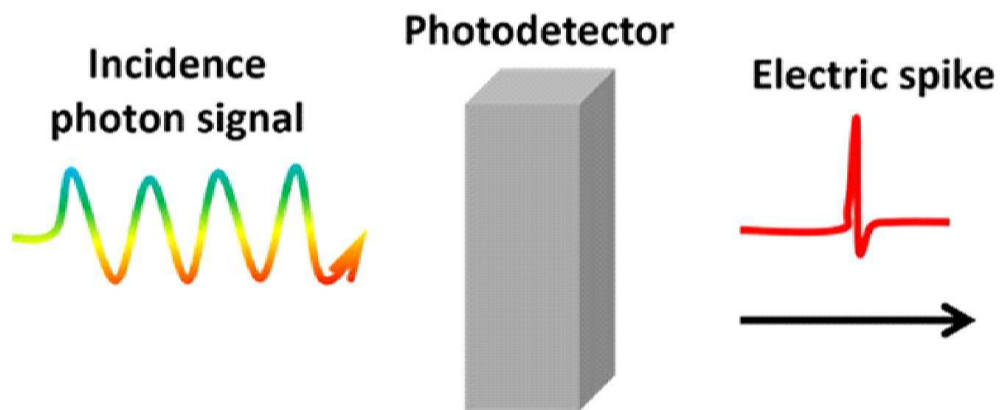
도면2



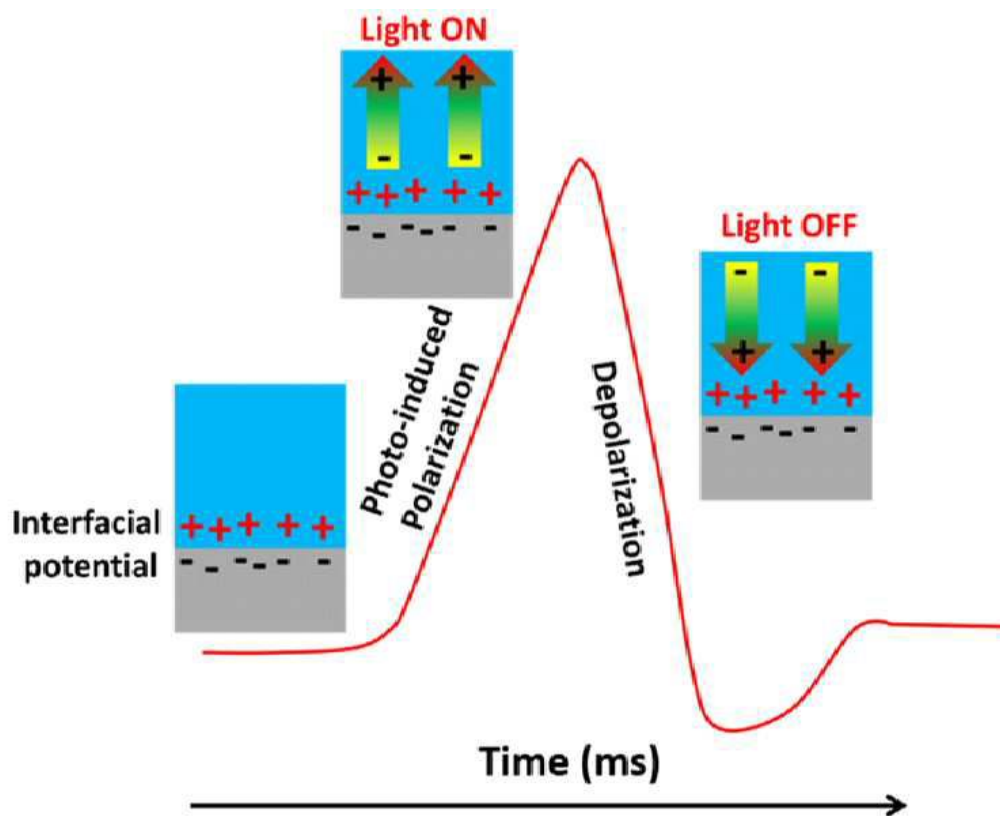
도면3



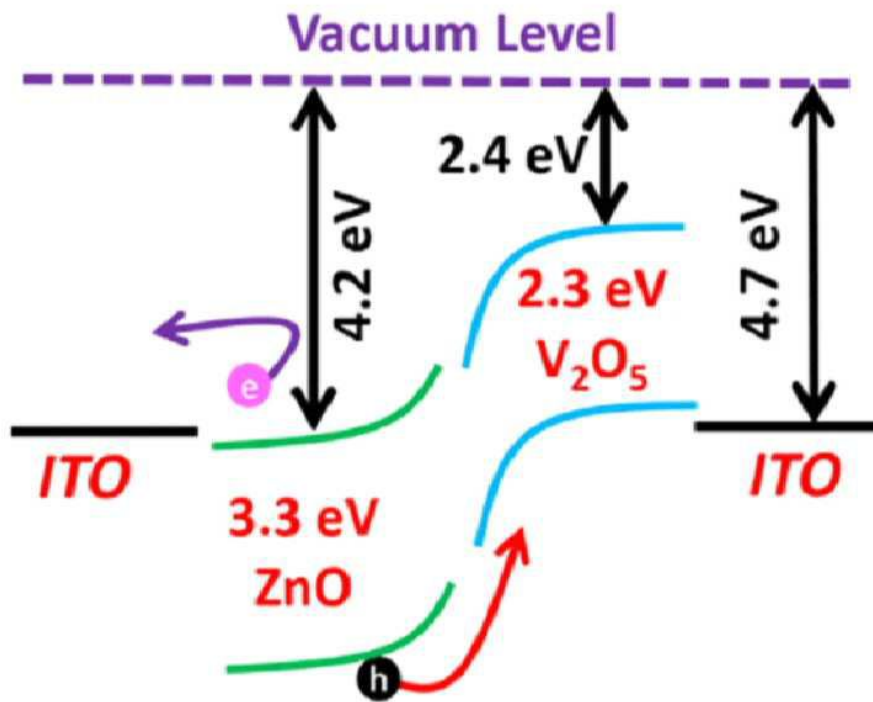
도면4



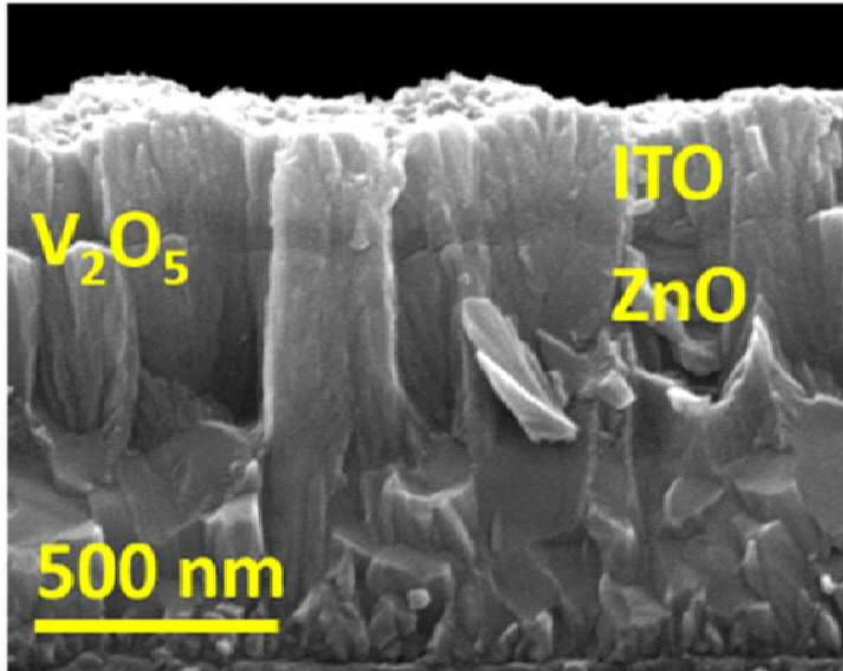
도면5



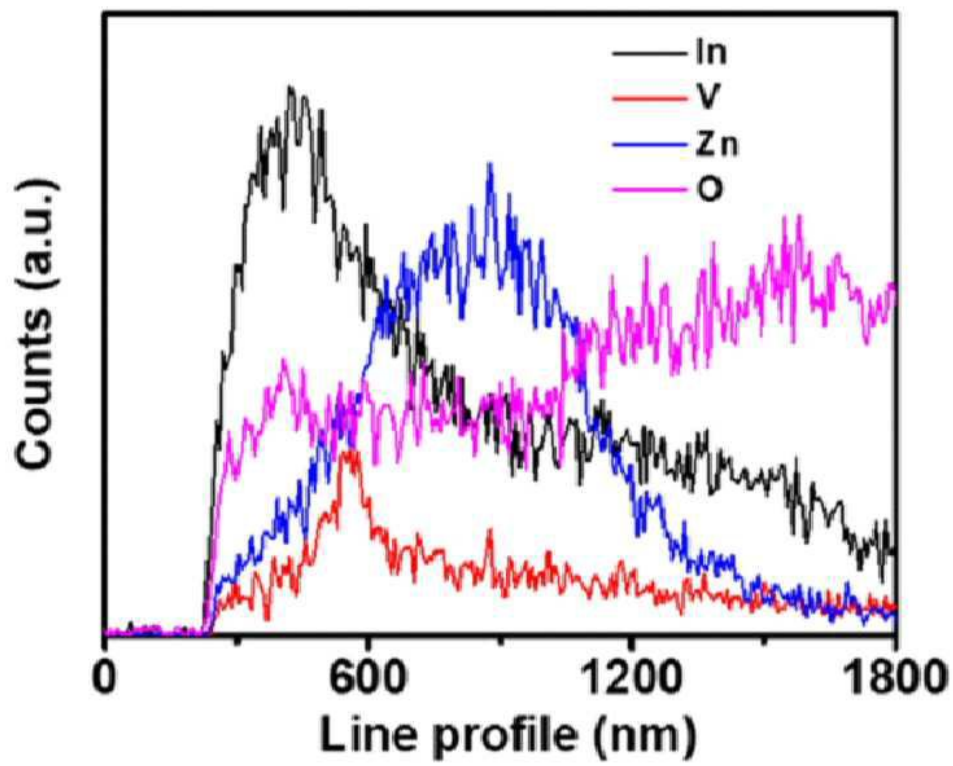
도면6



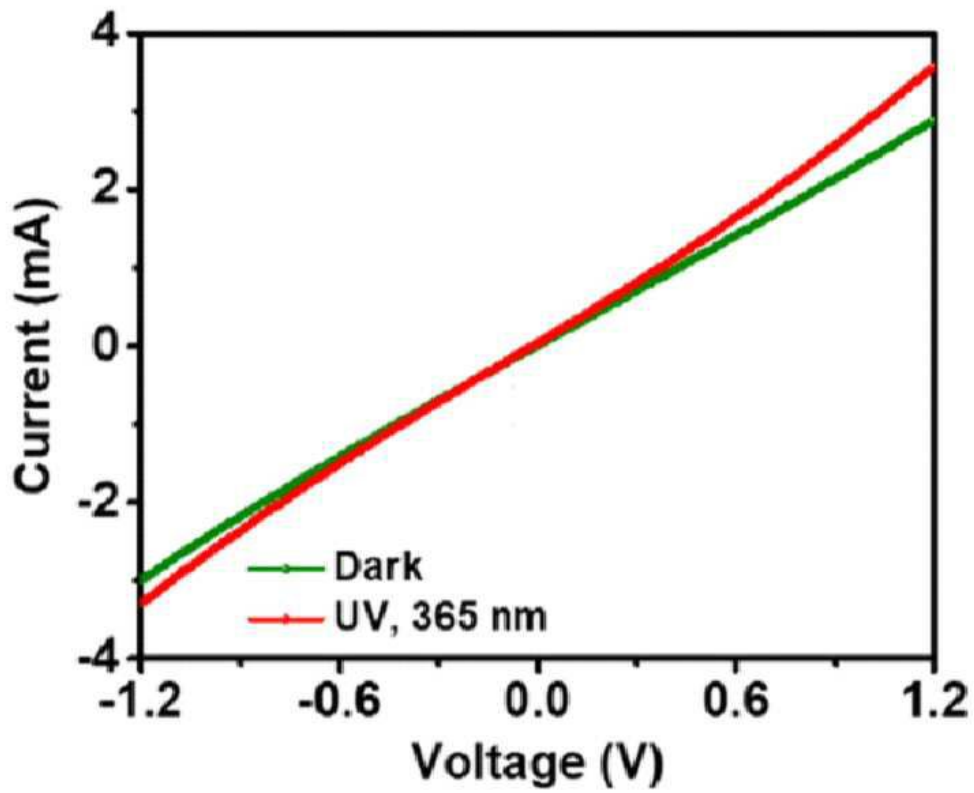
도면7



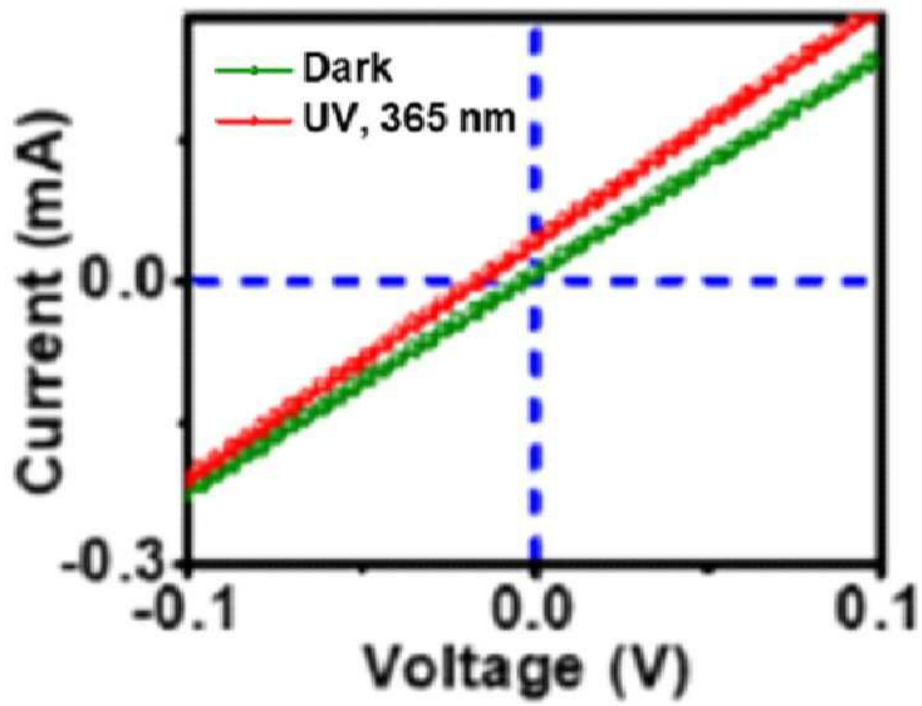
도면8



도면9a



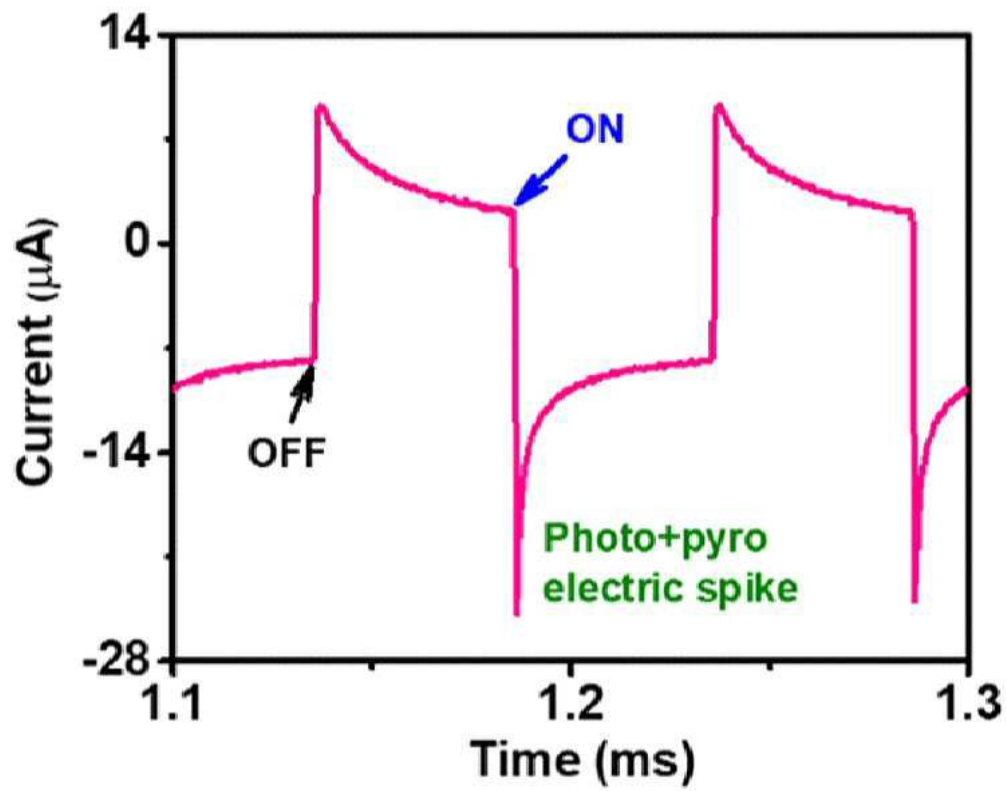
도면9b



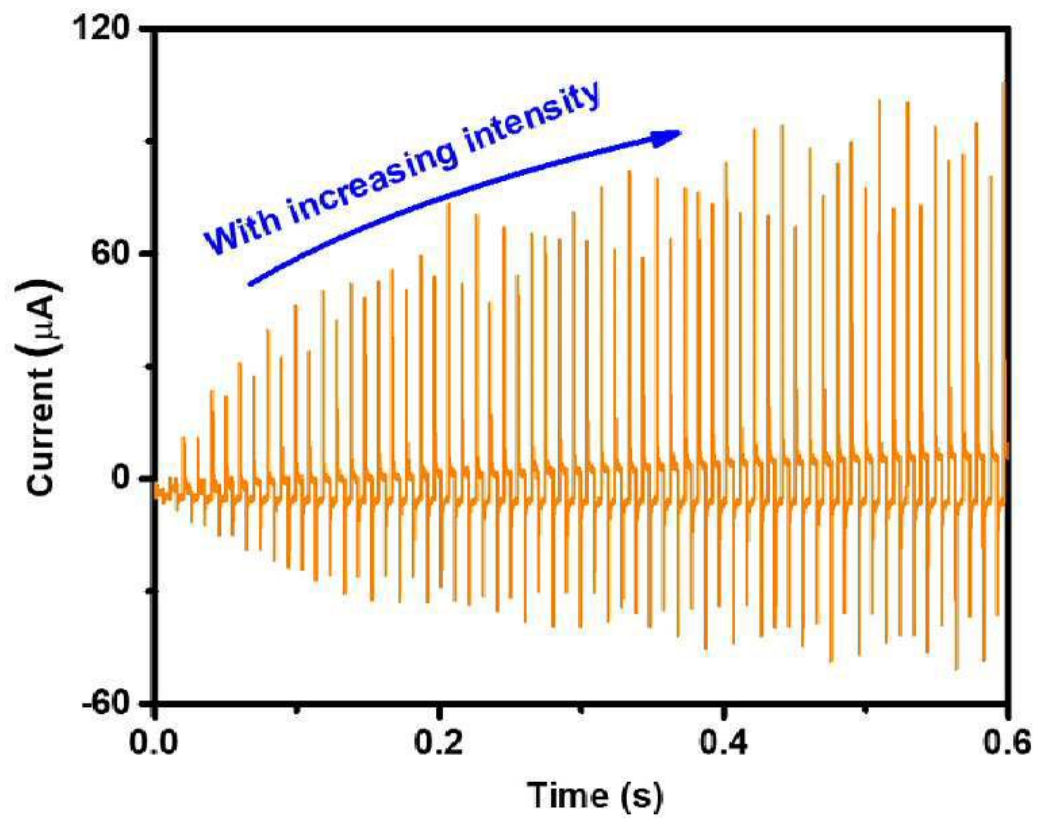
도면10



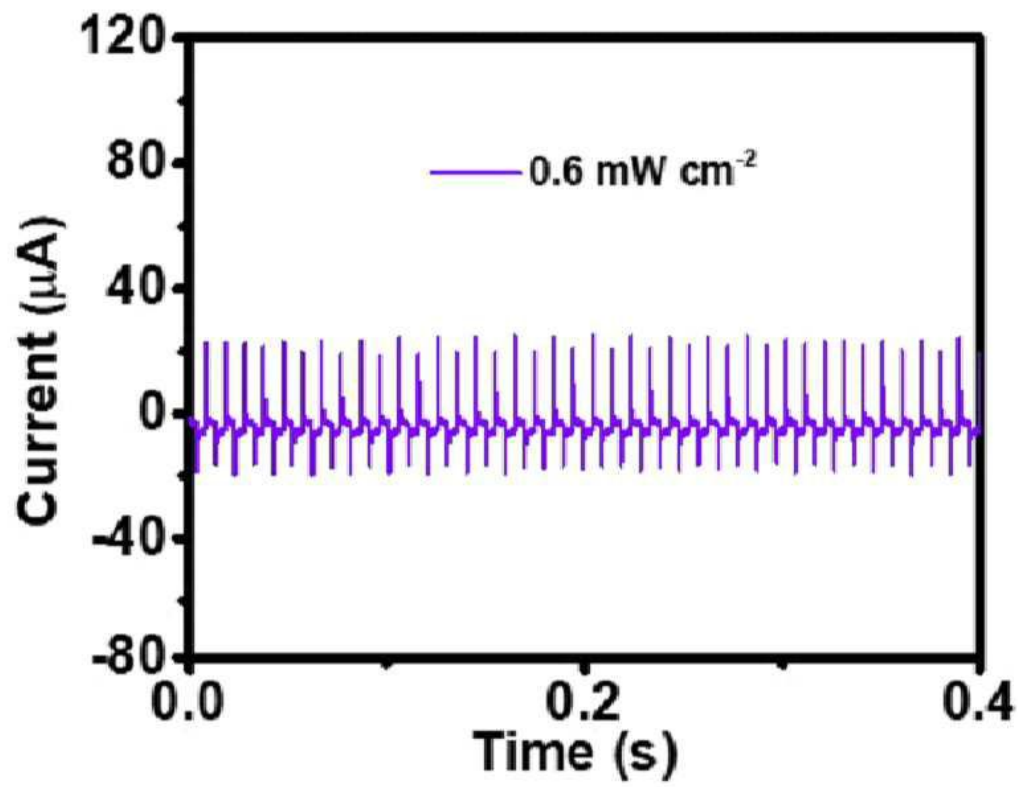
도면11



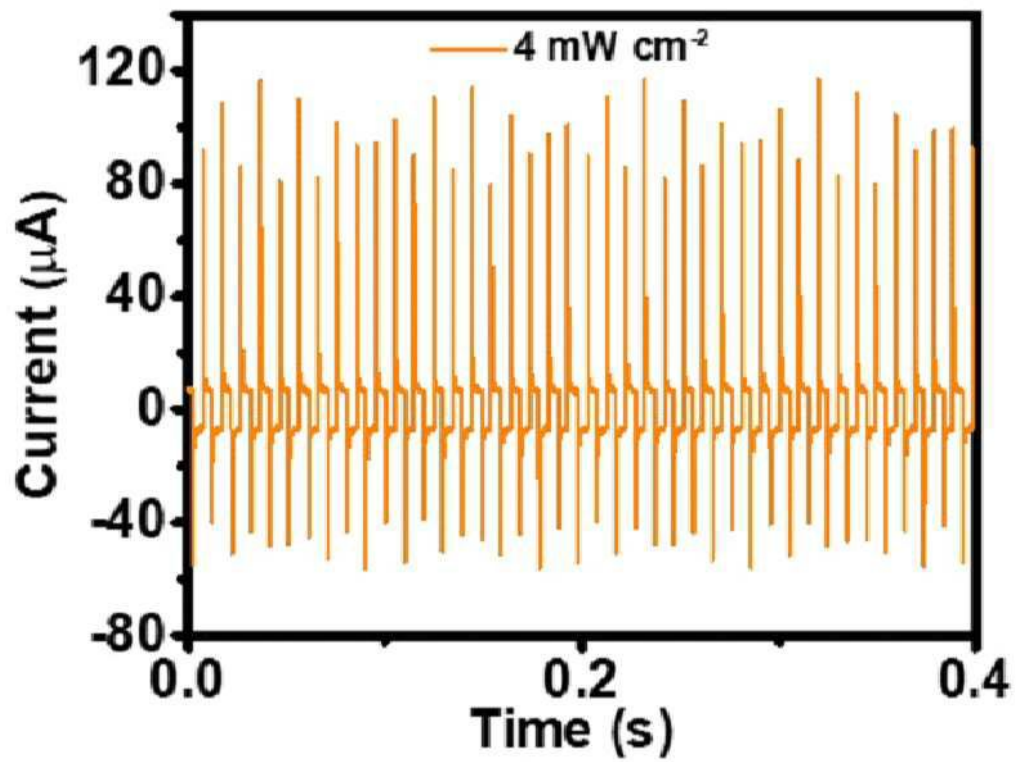
도면12



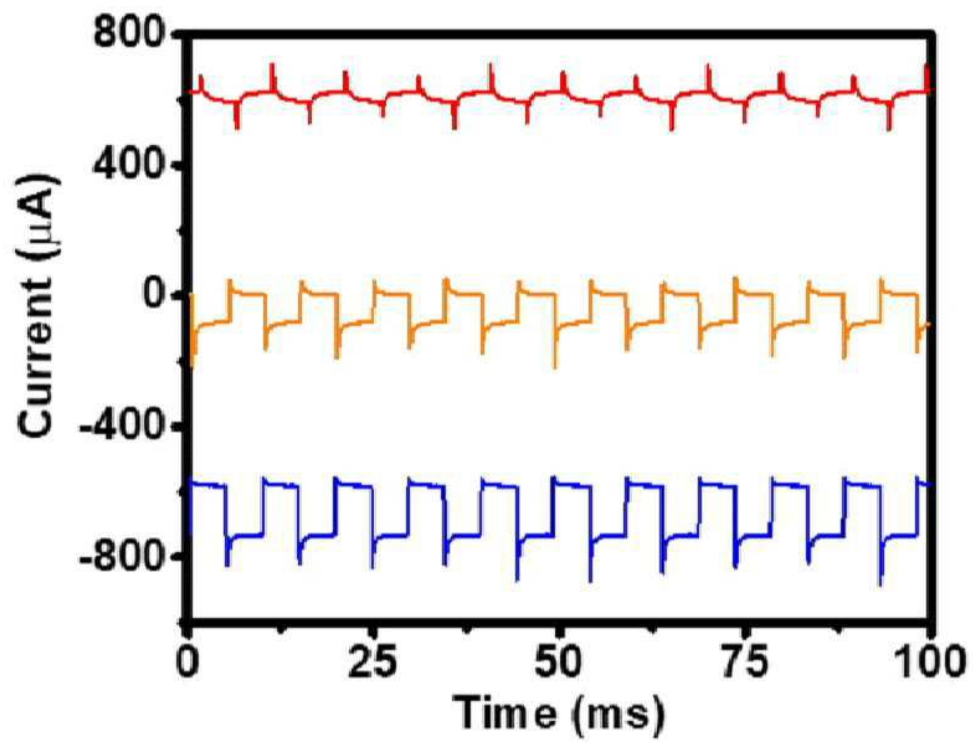
도면13



도면14



도면15



도면16

