



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2021년07월16일
(11) 등록번호 10-2278552
(24) 등록일자 2021년07월12일

- (51) 국제특허분류(Int. Cl.)
A61F 2/14 (2006.01) A61L 27/02 (2006.01)
A61N 1/05 (2006.01) A61N 1/36 (2006.01)
H01L 45/00 (2006.01)
- (52) CPC특허분류
A61F 2/14 (2013.01)
A61L 27/02 (2013.01)
- (21) 출원번호 10-2019-0095686
- (22) 출원일자 2019년08월06일
심사청구일자 2019년08월06일
- (65) 공개번호 10-2021-0017041
- (43) 공개일자 2021년02월17일
- (56) 선행기술조사문헌
KR1020140034693 A
US20110036399 A1*
KR101922049 B1
KR1020180008929 A
*는 심사관에 의하여 인용된 문헌

- (73) 특허권자
인천대학교 산학협력단
인천광역시 연수구 아카데미로 119 (송도동)
- (72) 발명자
김준동
인천 연수구 컨벤시아대로 274번길 15, 2304동
1001호 (송도동, 송도 더샵 마스터뷰 23-1BL)
모희 쿠마
인천광역시 연수구 학나래로5번길 46, 202호 (선
학동)
- (74) 대리인
강정빈, 심찬, 송두현

전체 청구항 수 : 총 7 항

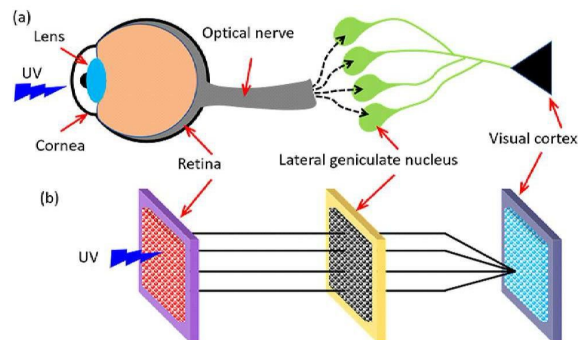
심사관 : 강혜리

(54) 발명의 명칭 **인공안구를 위한 투명 시각피질**

(57) 요약

본 발명은 인공안구를 위한 투명 시각피질에 관한 것으로서, 더욱 상세하게는 불 균일한 빛의 조사에 의해 평면 내 광전류를 형성함으로써 광 자극의 방향을 검출함으로써 시각피질의 역할을 수행할 수 있는 인공안구를 위한 투명 시각피질에 관한 것이다.

대표도



(52) CPC특허분류

- A61N 1/0543 (2013.01)
- A61N 1/36046 (2013.01)
- A61N 1/36057 (2013.01)
- H01L 45/122 (2013.01)
- H01L 45/1625 (2013.01)
- A61L 2430/16 (2013.01)
- A61L 2430/32 (2013.01)

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호	NRF-2019R1F1A1058949
부처명	미래창조과학부
과제관리(전문)기관명	한국연구재단
연구사업명	일반연구자사업
연구과제명	2차원 소재가 함입된 기능성 산화물 투명 태양전지
기 여 율	5/10
과제수행기관명	인천대학교
연구기간	2019.06.01 ~ 2020.05.31

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호	NRF-2018R1D1A1B07049871
부처명	미래창조과학부
과제관리(전문)기관명	한국연구재단
연구사업명	일반연구자사업
연구과제명	신경 회로망 적용을위한 광전자 커플 링 저전력 투명한 저항성 스위칭 디바이스
기 여 율	5/10
과제수행기관명	인천대학교
연구기간	2019.03.01 ~ 2020.02.28

명세서

청구범위

청구항 1

투명 시각피질로서,

FTO(Fluorine doped Tin Oxide)층;

상기 FTO층 위의 산화티타늄층;

상기 산화티타늄층 위의 산화니켈층;

상기 산화니켈층 상층의 일부에 형성된 제1전극; 및

상기 산화니켈층 상층의 일부에 상기 제1전극과 이격되어 형성된 제2전극;을 포함하고,

상기 산화티타늄층 및 상기 산화니켈층은 헤테로 구조를 형성하고,

상기 투명 시각피질은 평면 상에서 불균일한 광 조사에 의해 불균일한 전하 캐리어밀도가 형성되고, 평면에서의 정전기 전위 그래디언트가 형성될 수 있는, 투명 시각피질.

청구항 2

삭제

청구항 3

삭제

청구항 4

청구항 1에 있어서,

상기 산화티타늄층은,

스퍼터링을 수행하여 티타늄 타겟을 증착 시켜 티타늄층을 형성하고 급속열처리를 통해 상기 티타늄층을 산화시켜 생성되는, 투명 시각피질.

청구항 5

청구항 1에 있어서,

상기 산화니켈층은,

스퍼터링을 수행하여 산화니켈 타겟을 증착 시켜 생성되는, 투명 시각피질.

청구항 6

청구항 1에 있어서,

상기 산화티타늄층은 10 내지 1000nm의 두께를 갖고,

상기 산화니켈층은 10 내지 1000nm의 두께를 갖는, 투명 시각피질.

청구항 7

청구항 1에 있어서,
 상기 투명 시각피질은,
 가시광선 영역(파장 400 내지 800nm)에서 30% 이상의 투과율을 갖는, 투명 시각피질.

청구항 8

투명 시각피질의 제조방법으로서,
 FTO(Fluorine doped Tin Oxide)층을 배치하는 단계;
 상기 FTO층 위에 산화티타늄층을 배치하는 단계;
 상기 산화티타늄층 위에 산화니켈층을 배치하는 단계;
 상기 산화니켈층 상층의 일부에 형성된 제1전극을 배치하는 단계; 및
 상기 산화니켈층 상층의 일부에 상기 제1전극과 이격되어 형성된 제2전극을 배치하는 단계;를 포함하고,
 상기 산화티타늄층 및 상기 산화니켈층은 헤테로 구조를 형성하고,
 상기 투명 시각피질은 평면 상에서 불균일한 광 조사에 의해 불균일한 전하 캐리어밀도가 형성되고, 평면에서의 정전기 전위 그래디언트가 형성될 수 있는, 투명 시각피질의 제조방법.

청구항 9

삭제

청구항 10

청구항 8에 있어서,
 상기 산화티타늄층을 배치하는 단계는,
 스퍼터링을 수행하여 티타늄 타겟을 증착 시키는 제1스퍼터링단계; 및
 상기 제1스퍼터링을 수행하여 증착 된 티타늄층에 급속열처리를 수행하는 급속열처리단계; 를 포함하는, 투명 시각피질의 제조방법.

발명의 설명

기술 분야

[0001] 본 발명은 인공안구를 위한 투명 시각피질에 관한 것으로서, 더욱 상세하게는 불 균일한 빛의 조사에 의해 평면 내 광전류를 형성함으로써 광 자극의 방향을 검출함으로써 시각피질의 역할을 수행할 수 있는 인공안구를 위한 투명 시각피질에 관한 것이다.

배경 기술

[0003] 인공 안구나 기억장치 등과 같이 전자장치를 통해 인간의 두뇌의 기능을 모방하는 것은 미래 기술 설계에 필수적 요소가 되어가고 있다.

[0004] 기존의 기술과는 달리, 인간의 신경 작용을 모방하는 뉴로모픽 장치는 매우 낮은 에너지로 복잡한 문제를 해결할 수 있는 계산 구조를 가지고 있다. 이와 같은 장점을 활용하기 위하여 전자장치를 통해 인간의 뇌와 같은 기능을 모방하기 위한 연구가 지속적으로 이루어져 왔다.

[0005] 빛을 직접 입력 받아 신경 정보 처리 및 감지 기능을 수행하는 눈은 인체의 가장 중요한 기관 중 하나이다. 도 1의 (a)에 도시된 바와 같이, 인간의 눈에서 광학 정보는 망막에 의해 감지되고, 시신경을 통해 외측슬상핵

(Lateral Geniculate Nucleus, LGN) 세포로 전기 및/또는 화학 신호의 형태로 정보를 전송한다. 상기 외측슬상핵 세포는 정보를 시각피질 세포에 전송하며, 시각피질 세포는 이미지의 경계 또는 방향에 특정 반응을 나타낸다. 전자장치를 이용하여 이와 같은 시각피질을 구현하는 것은 인공 안구 등에서 시각 처리에 필수적이다.

[0006] 비특허문헌 1에서 Hubel과 Wiesel은 시각 인식 기능을 실험적으로 입증했으며, 시각피질 세포의 출력이 빛의 방향에 민감함을 발견하였다. 이와 같은 이론에 기초하여 맵리스트 그리드, 플로팅게이트 트랜지스터 어레이, 산화 그래핀 트랜지스터 등의 전자장치를 이용하여 시각피질의 행동을 모방하려는 시도가 이루어지고 있다.

[0007] 다만 지금까지 이와 같은 시도는 도 1의 (b)에 도시된 것과 같이 망막과 같이 전기 신호를 입력 받고, 외측슬상핵 세포와 같이 이를 2차 레이어와 일 대 일 매핑을 하는 것을 주요 동작으로 하였다. 이 후, 시각피질과 같이 2차 레이어로부터 3차 레이어로 다 대 일 매핑이 수행된다.

[0008] 다만, 이와 같은 시도는 인간의 안구와 달리 전기 신호를 사용하고, 직접 광 입력을 통해 시각 피질의 동작을 수행하여 구조를 간략화 한 장치에 대해서는 아직 개발되어 있지 않다.

선행기술문헌

비특허문헌

[0010] (비특허문헌 0001) B. Y. D. H. Hubel, a D. T. N. Wiesel, D. N. Hubel, T. N. Wiesel, B. Y. D. H. Hubel, a D. T. N. Wiesel, J. Physiol. 1962, 160, 106.

발명의 내용

해결하려는 과제

[0011] 본 발명은 불 균일한 빛의 조사에 의해 평면 내 광전류를 형성함으로써 광 자극의 방향을 검출함으로써 시각피질의 역할을 수행할 수 있는 인공안구를 위한 투명 시각피질을 제공하는 것을 그 목적으로 한다.

과제의 해결 수단

- [0013] 상기와 같은 과제를 해결하기 위하여 본 발명은 투명 시각피질로서, FTO층;
- [0014] 상기 FTO층 위의 산화티타늄층; 및 상기 산화티타늄층 위의 산화니켈층; 을 포함하고, 상기 산화티타늄층 및 상기 산화니켈층은 헤테로 구조를 형성하는, 투명 시각피질을 제공한다.
- [0015] 본 발명에서는, 상기 투명 시각피질은, 불 균일한 광 조사에 의해 생성되는 층 내 광기전효과에 따른 광전류를 형성할 수 있다.
- [0016] 본 발명에서는, 상기 투명 시각피질은, 상기 산화니켈층 위의 전극층을 더 포함할 수 있다.
- [0017] 본 발명에서는, 상기 전극층은, 은나노와이어를 포함할 수 있다.
- [0018] 본 발명에서는, 상기 산화티타늄층은, 스퍼터링을 수행하여 티타늄 타겟을 증착 시켜 티타늄층을 형성하고 급속 열처리를 통해 티타늄층을 산화시켜 생성될 수 있다.
- [0019] 본 발명에서는, 상기 산화니켈층은, 스퍼터링을 수행하여 산화니켈 타겟을 증착 시켜 생성될 수 있다.
- [0020] 본 발명에서는, 상기 산화티타늄층은 10 내지 1000nm의 두께를 갖고, 상기 산화니켈층은 10 내지 1000nm의 두께를 가질 수 있다.
- [0021] 본 발명에서는, 상기 투명 시각피질은, 가시광선 영역(파장 400 내지 800nm)에서 30% 이상의 투과율을 가질 수 있다.
- [0023] 상기와 같은 과제를 해결하기 위하여 본 발명은, 투명 시각피질의 제조방법으로서, FTO층을 배치하는 단계; 상기 FTO층 위에 산화티타늄층을 배치하는 단계; 및 상기 산화티타늄층 위에 산화니켈층을 배치하는 단계; 를 포함하고, 상기 산화티타늄층 및 상기 산화니켈층은 헤테로 구조를 형성하는, 투명 시각피질의 제조방법을 제공한다.
- [0024] 본 발명에서는, 상기 투명 시각피질의 제조방법은, 상기 산화니켈층 위에 전극층을 배치하는 단계; 를 더 포함

할 수 있다.

[0025] 본 발명에서는, 상기 산화티타늄층을 배치하는 단계는, 스퍼터링을 수행하여 티타늄 타겟을 증착 시키는 제1스퍼터링단계; 및 상기 제1스퍼터링을 수행하여 증착된 티타늄층에 급속열처리를 수행하는 급속열처리단계; 를 포함할 수 있다.

발명의 효과

[0027] 본 발명의 일 실시예에 따르면, 단순한 구조로 시각피질의 기능을 수행할 수 있는 인공 투명 시각피질을 제공하는 효과를 발휘할 수 있다.

[0028] 본 발명의 일 실시예에 따르면 가시광선 영역에서 높은 투명성을 갖는 투명 시각피질을 제공하는 효과를 발휘할 수 있다.

[0029] 본 발명의 일 실시예에 따른 투명 시각피질은 광 자극을 직접 입력 받아 광전류를 생성함으로써 시각피질의 기능을 수행할 수 있는 효과를 발휘할 수 있다.

[0030] 본 발명의 일 실시예에 따른 투명 시각피질은 헤테로 구조에 의해 셀프-바이어스 동작 가능한 효과를 발휘할 수 있다.

[0031] 본 발명의 일 실시예에 따른 투명 시각피질은 광 자극의 방향을 감지함으로써 시각피질의 기능을 수행하는 효과를 발휘할 수 있다.

도면의 간단한 설명

- [0033] 도 1은 안구의 동작원리와 인공안구의 동작원리를 개략적으로 도시하는 도면이다.
- 도 2는 본 발명의 일 실시예에 따른 투명 시각피질의 층상구조를 개략적으로 도시하는 도면이다.
- 도 3는 본 발명의 일 실시예에 따른 투명 시각피질의 제조장비를 개략적으로 도시하는 도면이다.
- 도 4는 본 발명의 일 실시예에 따른 투명 시각피질에 UV광이 조사되는 경우의 동작을 개략적으로 도시하는 도면이다.
- 도 5는 본 발명의 일 실시예에 따른 투명 시각피질의 투과율 및 흡광도 스펙트럼을 도시하는 도면이다.
- 도 6은 본 발명의 일 실시예에 따른 투명 시각피질의 밴드 다이어그램을 개략적으로 도시하는 도면이다.
- 도 7은 본 발명의 일 실시예에 따른 투명 시각피질의 I-V 곡선을 도시하는 도면이다.
- 도 8은 본 발명의 일 실시예에 따른 투명 시각피질의 광전자성능을 도시하는 도면이다.
- 도 9는 본 발명의 일 실시예에 따른 투명 시각피질의 산화니켈층의 광 조사에 따른 접촉전위차의 변화 분포를 개략적으로 도시하는 도면이다.
- 도 10은 본 발명의 일 실시예에 따른 투명 시각피질의 산화니켈층의 광 조사에 따른 표면전위의 변화 분포를 개략적으로 도시하는 도면이다.
- 도 11은 본 발명의 일 실시예에 따른 투명 시각피질의 산화니켈층의 광 조사에 따른 접촉전위차의 변화 프로파일을 개략적으로 도시하는 도면이다.
- 도 12는 본 발명의 일 실시예에 따른 투명 시각피질의 산화니켈층의 광 조사에 따른 접촉전위차의 변화와 광 강도의 관계를 개략적으로 도시하는 도면이다.
- 도 13은 본 발명의 일 실시예에 따른 투명 시각피질의 접촉전위차 변화 측정을 위한 실험 설정을 개략적으로 도시하는 도면이다.
- 도 14는 본 발명의 일 실시예에 따른 투명 시각피질에 비대칭 조명을 조사하는 모습을 개략적으로 도시하는 도면이다.
- 도 15는 본 발명의 일 실시예에 따른 투명 시각피질에 비대칭 조명을 조사하여 측정된 광기전력을 도시하는 도면이다.
- 도 16은 본 발명의 일 실시예에 따른 투명 시각피질에 비대칭 조명을 조사하여 측정된 광전류와 광 강도의 관

계를 개략적으로 도시하는 도면이다.

도 17은 본 발명의 일 실시예에 따른 투명 시각피질의 반복된 조명 사이클에 대한 광 응답을 도시하는 도면이다.

도 18은 본 발명의 일 실시예에 따른 투명 시각피질의 방향에 따른 광 응답을 도시하는 도면이다.

도 19는 본 발명의 일 실시예에 따른 투명 시각피질의 방향에 따른 광 응답을 도시하는 도면이다.

도 20은 본 발명의 일 실시예에 따른 투명 시각피질의 방향에 따른 광 응답을 도시하는 도면이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0034] 이하에서는, 다양한 실시예들 및/또는 양상들이 이제 도면들을 참조하여 개시된다. 하기 설명에서는 설명을 목적으로, 하나 이상의 양상들의 전반적 이해를 돕기 위해 다수의 구체적인 세부사항들이 개시된다. 그러나, 이러한 양상(들)은 이러한 구체적인 세부사항들 없이도 실행될 수 있다는 점 또한 본 발명의 기술 분야에서 통상의 지식을 가진 자에게 인식될 수 있을 것이다. 이후의 기재 및 첨부된 도면들은 하나 이상의 양상들의 특정한 예시적인 양상들을 상세하게 기술한다. 하지만, 이러한 양상들은 예시적인 것이고 다양한 양상들의 원리들에서의 다양한 방법들 중 일부가 이용될 수 있으며, 기술되는 설명들은 그러한 양상들 및 그들의 균등물들을 모두 포함하고자 하는 의도이다.

[0035] 본 명세서에서 사용되는 "실시예", "예", "양상", "예시" 등은 기술되는 임의의 양상 또는 설계가 다른 양상 또는 설계들보다 양호하다거나, 이점이 있는 것으로 해석되지 않을 수도 있다.

[0036] 더불어, 용어 "또는"은 배타적 "또는"이 아니라 내포적 "또는"을 의미하는 것으로 의도된다. 즉, 달리 특정되지 않거나 문맥상 명확하지 않은 경우에, "X는 A 또는 B를 이용한다"는 자연적인 내포적 치환 중 하나를 의미하는 것으로 의도된다. 즉, X가 A를 이용하거나; X가 B를 이용하거나; 또는 X가 A 및 B 모두를 이용하는 경우, "X는A 또는 B를 이용한다"가 이들 경우들 어느 것으로도 적용될 수 있다. 또한, 본 명세서에 사용된 "및/또는"이라는 용어는 열거된 관련 아이템들 중 하나 이상의 아이템의 가능한 모든 조합을 지칭하고 포함하는 것으로 이해되어야 한다.

[0037] 또한, "포함한다" 및/또는 "포함하는"이라는 용어는, 해당 특징 및/또는 구성요소가 존재함을 의미하지만, 하나 이상의 다른 특징, 구성요소 및/또는 이들의 그룹의 존재 또는 추가를 배제하지 않는 것으로 이해되어야 한다.

[0038] 또한, 본 명세서에서 명백하게 다른 내용을 지시하지 않는 “한” 과, “상기” 와 같은 단수 표현들은 복수 표현들을 포함한다는 것이 이해될 수 있을 것이다.

[0039] 또한, 제1, 제2 등과 같이 서수를 포함하는 용어는 다양한 구성요소들을 설명하는데 사용될 수 있지만, 상기 구성요소들은 상기 용어들에 의해 한정되지는 않는다. 상기 용어들은 하나의 구성요소를 다른 구성요소로부터 구별하는 목적으로만 사용된다. 예를 들어, 본 발명의 권리 범위를 벗어나지 않으면서 제1 구성요소는 제2 구성요소로 명명될 수 있고, 유사하게 제2 구성요소도 제1 구성요소로 명명될 수 있다. 및/또는 이라는 용어는 복수의 관련된 기재된 항목들의 조합 또는 복수의 관련된 기재된 항목들 중의 어느 항목을 포함한다.

[0040] 또한, 본 명세서에서 사용한 용어는 단지 특정한 실시 예를 설명하기 위해 사용된 것으로, 본 발명을 한정하려는 의도가 아니다. 단수의 표현은 문맥상 명백하게 다르게 뜻하지 않는 한, 복수의 표현을 포함한다. 본 명세서에서, "포함하다" 또는 "가지다" 등의 용어는 명세서상에 기재된 특징, 숫자, 단계, 동작, 구성요소, 부품 또는 이들을 조합한 것이 존재함을 지정하려는 것이지, 하나 또는 그 이상의 다른 특징들이나 숫자, 단계, 동작, 구성요소, 부품 또는 이들을 조합한 것들의 존재 또는 부가 가능성을 미리 배제하지 않는 것으로 이해되어야 한다.

[0041] 또한, 본 발명의 실시예들에서, 별도로 다르게 정의되지 않는 한, 기술적이거나 과학적인 용어를 포함해서 여기서 사용되는 모든 용어들은 본 발명이 속하는 기술 분야에서 통상의 지식을 가진 자에 의해 일반적으로 이해되는 것과 동일한 의미를 가지고 있다. 일반적으로 사용되는 사전에 정의되어 있는 것과 같은 용어들은 관련 기술의 문맥 상 가지는 의미와 일치하는 의미를 가지는 것으로 해석되어야 하며, 본 발명의 실시예에서 명백하게 정의하지 않는 한, 이상적이거나 과도하게 형식적인 의미로 해석되지 않는다.

[0043] 도 2는 본 발명의 일 실시예에 따른 투명 시각피질의 층상구조를 개략적으로 도시하는 도면이다.

[0045] 도 2를 참조하면 본 발명의 일 실시예에 따른 투명 시각피질은 FT0층(100); 상기 FT0층 위의 산화티타늄층

(200); 및 상기 산화티타늄층(200) 위의 산화니켈층(300); 을 포함할 수 있다.

- [0047] 본 발명의 일 실시예에서 상기 FTO층(100)은 유리 기판 상에 코팅된 FTO층이고, 상기 산화티타늄층(200)은 이산화티타늄(TiO_2)를 포함하고, 상기 산화니켈층(300)은 산화니켈(NiO)을 포함할 수 있다.
- [0049] 본 발명의 일 실시예에서 상기 산화티타늄층(200)은 10 내지 1000nm의 두께를 가질 수 있고, 상기 산화니켈층(300)은 10 내지 1000nm의 두께를 가질 수 있다. 더욱 바람직하게는, 상기 산화티타늄층(200)은 30 내지 250nm의 두께를 가질 수 있고, 상기 산화니켈층(300)은 10 내지 50nm의 두께를 가질 수 있다. 이와 같은 두께를 가짐으로써 상기 산화티타늄층(200) 및 상기 산화니켈층(300)은 투명도를 유지하면서도 투명 시각피질로서 동작할 수 있다.
- [0051] 본 발명의 일 실시예에서 상기 FTO층(100)은 기판 상에 FTO를 코팅하여 생성되고, 상기 산화티타늄층(200)은 스퍼터링을 수행하여 티타늄(Ti)타겟을 증착 시킨 후 급속열처리를 수행하여 생성되고, 상기 산화니켈층은 반응성 스퍼터링을 수행하여 니켈(Ni)타겟을 증착 시켜 생성될 수 있다.
- [0053] 도 3은 본 발명의 일 실시예에 따른 투명 시각피질의 제조장비를 개략적으로 도시하는 도면이다.
- [0055] 본 발명에서는 공동 스퍼터링 장치를 이용하여 산화티타늄층 및 산화니켈층을 FTO 기판 상에 성장시킨다.
- [0056] 구체적으로, 상기 스퍼터링 장치는 내부에 기판(9)이 장착되며 내벽에 접지전압을 공급받는 챔버(1), 챔버(1) 내부에 위치하며 외부로부터 전압(5)을 공급받는 스퍼터 건(3), 스퍼터 건(3) 상부 면에 위치한 자석(2), 스퍼터 건(3) 하부 면에 위치한 타겟물질(4), 상기 타겟물질(4)을 부착 지지하는 건 벽(6), 상기 기판(9)을 가열하는 가열부(10), 및 상기 챔버(1) 내부의 기체를 외부로 배출하는 펌프부(미도시)를 포함한다.
- [0058] 이하, 상기와 같은 구성을 갖는 본 발명의 투명 시각피질의 제조설비의 동작에 대하여 설명하도록 한다.
- [0059] 먼저, 챔버(1) 내부에는 아르곤 가스 등을 포함하는 희가스가 주입된다. 이 후, 주입된 아르곤 가스는, 스퍼터 건(3)에 인가된 전압(5)에 의해 기체 방전을 일으킴으로써, 아르곤 가스 플라즈마(7)로 변환된다. 이때, 챔버(1) 내부 즉, 타겟물질(4)과 웨이퍼(9) 사이의 공간에는 스퍼터 건(3) 상부 면에 위치한 자석(2)에 의해 자계가 형성되어 있다.
- [0060] 기체 방전에 의해 생성된 아르곤 가스 플라즈마(7)는, 챔버(1) 내부에 형성되어 있는 자계의 경로를 따라 타겟물질(4) 쪽으로 이동함으로써, 건 벽(6) 상에 고정된 타겟물질(4)의 표면과 물리적으로 충돌한다.
- [0061] 그에 따라, 타겟물질(4)의 표면으로부터는 증착 물질(8)이 방출되고, 이러한 증착 물질(8)은, 챔버(1) 하부 면에 위치한 웨이퍼(9) 표면에 증착 되어 웨이퍼(9) 상에 박막을 형성한다.
- [0063] 도 3에 도시된 투명 시각피질 제조설비를 이용한 본 발명의 일 실시예에 따른 투명 시각피질의 제조방법은 세척한 기판(9에 상응)에 FTO를 코팅하는 기판준비공정, 챔버(1) 내에 티타늄(순도 99.99%)를 포함하는 제1타겟물질(4)과 처리해야 할 FTO 코팅 기판(9에 상응)을 배치하고, 챔버(1) 내에 희가스를 도입하고, 상기 제1타겟물질에 전력을 인가하여 스퍼터링에 의하여 상기 기판의 표면에 티타늄층을 성장시키는 제1스퍼터링공정; 상기 티타늄층을 급속 열처리하여 티타늄을 산화시켜 산화티타늄층을 생성하는 급속열처리공정; 및 챔버(1) 내에 니켈(순도 99.999%)을 포함하는 제2타겟물질(4)과 상기 급속열처리공정을 거친 기판(9에 상응)을 배치하고, 챔버(1) 내에 희가스를 도입하고, 상기 제2타겟물질에 전력을 인가하여 반응성 스퍼터링에 의하여 상기 기판의 표면에 산화니켈층을 성장시키는 제2스퍼터링공정; 을 포함한다.
- [0064] 여기서, 본 발명에서는, 상기 기판(9)의 하면에는 가열부(10)가 배치되어, 상기 스퍼터링 공정 중 또는 공정 후에 기설정된 온도범위로 상기 기판을 가열할 수 있다.
- [0065] 이와 같은 방식으로 단일 공정으로 FTO 코팅 기판(9) 상에 산화티타늄층 및 산화니켈층을 갖는 층상구조를 안정적으로 형성시킬 수 있다.
- [0067] 바람직하게는, 상기 제1스퍼터링공정은 RF 스퍼터링 공정에 해당하고, 상기 제1타겟물질(4)에는 고주파 전력이 인가되고, 상기 제1타겟물질(4)의 상기 기판 측의 반대측에 자기장을 형성시킬 수 있는 자석부재를 배치한다.
- [0068] 더욱 바람직하게는 상기 제1스퍼터링공정에서 상기 제1타겟물질(4)에 인가되는 RF 전력은 250~350W 범위에 해당한다. 이와 같은 전력 범위에서 상기 티타늄층의 성장을 안정적으로 도모할 수 있다.
- [0070] 또한 바람직하게는, 상기 제2스퍼터링공정은 반응성 DC 스퍼터링 공정에 해당하고, 상기 제2타겟물질(4)에는 전력이 인가되고, 상기 제2타겟물질(4)의 상기 기판 측의 반대측에 자기장을 형성시킬 수 있는 자석부재를 배치한

다.

- [0071] 더욱 바람직하게는 상기 제2스퍼터링공정에서 상기 제2타겟물질(4)에 인가되는 DC 전력은 30~70W 범위에 해당하는다. 이와 같은 전력 범위에서 상기 산화니켈층의 성장을 안정적으로 도모할 수 있다.
- [0073] 바람직하게는, 상기 제1스퍼터링 공정 중에 상기 챔버내의 압력은 3 ~ 10 mTorr 범위로 유지된다. 이와 같은 챔버내의 압력 범위를 유지함으로써 보다 안정적으로 티타늄층을 상기 FTO 코팅 기관 상에 형성 및 성장시킬 수 있다. 이 때, 상기 챔버에는 유속 20 내지 40sccm의 아르곤 가스 환경을 조성할 수 있다.
- [0074] 또한 바람직하게는, 상기 제2스퍼터링 공정 중에 상기 챔버내의 압력은 2 ~ 6 mTorr 범위로 유지된다. 이와 같은 챔버내의 압력 범위를 유지함으로써 보다 안정적으로 산화니켈층을 상기 기관 상에 형성 및 성장시킬 수 있다. 이 때, 상기 챔버에는 유속 20 내지 40sccm의 아르곤 가스 및 유속 2 내지 5sccm의 산소 환경을 조성할 수 있다. 바람직하게는 상기 아르곤가스 및 상기 산소의 유속 비율이 9:1 내지 11:1인 환경을 조성하여 반응성 스퍼터링이 일어나도록 할 수 있다.
- [0076] 또한, 본 발명의 일 실시예에서 상기 투명 시각피질은 상기 티타늄층을 생성한 후 급속열처리를 수행하여 산화티타늄층을 생성한다. 바람직하게는 상기 열처리는 450 내지 550℃에서 8분 내지 12분동안 산소 환경에서 수행될 수 있다.
- [0078] 본 발명에서는 FTO층을 배치하는 단계; 상기 FTO층 위에 산화티타늄층을 배치하는 단계; 및 상기 산화티타늄층 위에 산화니켈층을 배치하는 단계; 를 포함하여 투명 시각피질을 제조할 수 있다.
- [0079] 더욱 상세하게는 전술한 바와 같이 챔버 내에 산화티타늄을 포함하는 제1타겟물질과 처리해야 할 FTO 코팅 기관을 배치하고, 챔버 내에 희가스를 도입하고, 상기 제1타겟물질에 전력을 인가하여 스퍼터링에 의하여 상기 기관의 FTO층 상에 티타늄층을 성장시키는 제1스퍼터링공정 및 티타늄층을 급속열처리를 통해 산화시키는 급속열처리공정에 의하여 제조되는 산화티타늄층 및 챔버 내에 니켈을 포함하는 제2타겟물질과 상기 제1스퍼터링공정을 거친 기관을 배치하고, 챔버 내에 산소 및 희가스를 도입하고, 상기 제2타겟물질에 전력을 인가하여 반응성 스퍼터링에 의하여 상기 기관의 표면에 산화니켈층을 성장시키는 제2스퍼터링공정에 의하여 제조되는 산화니켈층을 포함하는 투명 시각피질을 제조할 수 있다.
- [0080] 또한, 본 발명의 일 실시예에 따른 투명 시각피질은 상기 산화니켈층 위에 은나노와이어(AgNWs)를 스펀 코팅하여 제조되는 전극층을 더 포함할 수 있다.
- [0082] 이하에서는 본 발명의 일 실시예에 따른 투명 시각피질의 특성에 대해 설명한다.
- [0084] 도 4는 본 발명의 일 실시예에 따른 투명 시각피질에 UV광이 조사되는 경우의 동작을 개략적으로 도시하는 도면이다.
- [0086] 본 발명의 일 실시예에 따른 투명 시각피질은 FTO층, 산화티타늄층 및 산화니켈층의 층상구조를 포함하고, 상기 산화티타늄층 및 상기 산화니켈층은 헤테로 접합 구조를 형성하여 조사되는 빛에 의해 광전류를 생성한다. 이처럼 생성된 광전류는 도 4의 (a)에 도시된 것과 같이 시각피질과 유사한 행동을 보인다.
- [0088] 도 4의 (b)에는 본 발명의 일 실시예에 따른 투명 시각피질의 작동의 기본 개념이 도시되어 있다. 도 4의 (b)에 도시된 것과 같이 본 발명의 일 실시예에 따른 투명 시각피질은 일반적인 종 방향(층 간) 광기전효과 외에, 불균일한 광 조사에 의해 생성되는 횡 방향(층 내) 광기전효과에 기반하여 동작한다. 시각피질에 조사되는 불균일한 광자는 캐리어 밀도 그래디언트를 유발하고, 이는 횡 방향 확산을 유도함으로써 평면상에 광전류를 생성한다.
- [0089] 상기 투명 시각피질에 대한 광 입력의 분포는 평면 광전류의 출력에 영향을 줌으로써, 상기 투명 시각피질이 광 자극의 방향을 구별할 수 있도록 할 수 있다. 이와 같은 기능에 의해 본 발명의 일 실시예에 따른 상기 투명 시각피질은 인공 안구에서의 시각 인식에 사용될 수 있다.
- [0091] 도 5는 본 발명의 일 실시예에 따른 투명 시각피질의 투과율 및 흡광도 스펙트럼을 도시하는 도면이다.
- [0092] 본 발명의 일 실시예에 따른 상기 투명 시각피질은 광 입력에 의해 전자-정공(e-h)쌍의 생성에 의해 작동한다. 따라서 본 발명의 일 실시예에 따른 상기 투명 시각피질의 헤테로 구조는 광활성은 나타내야 한다. 이를 확인 위해 본 발명의 일 실시예에 따른 상기 투명 시각피질의 투과율 및 흡광도 스펙트럼을 측정하였다.
- [0094] 도 5에는 본 발명의 일 실시예에 따른 투명 시각피질의 투과율 스펙트럼이 보라색으로, 흡광도 스펙트럼이 주황

색으로 도시되어 있다.

- [0095] 도 5를 참조하면 상기 투명 시각피질의 투과율은 가시광선 영역 전체(400 내지 800nm)에서 50% 이상이었으며, 400nm 이하의 파장에서 투과율이 급격히 감소하였다. 이는 상기 투명 시각피질의 헤테로 구조에서 자외선(UV)이 흡수되기 때문이다.
- [0096] 또한, 도 5에 도시된 바와 같이, 가시광선 영역에서 매우 낮은 흡광도가 나타났다. 이는 상기 투명 시각피질이 투명 장치로서 사용될 수 있음을 나타낸다. 특히, 상기 산화티타늄층 및 상기 산화니켈층의 이산화티타늄 및 산화니켈의 밴드 갭이 각각 3.4eV 및 3.8eV이기 때문에 자외선 광자는 효과적으로 흡수될 수 있지만, 가시광 광자는 투과된다.
- [0097] 도 5의 우측에 삽입된 이미지는 실 제작된 상기 투명 시각피질의 사진으로서, 상기 투명 시각피질의 투명성을 확인할 수 있다. 이와 같이 본 발명의 일 실시예에서 상기 투명 시각피질은 가시광선 영역(파장 400 내지 800nm)에서 30% 이상의 투과율을 가질 수 있고, 더욱 바람직하게는 50% 이상의 투과율을 가질 수 있다.
- [0099] 도 6은 본 발명의 일 실시예에 따른 투명 시각피질의 밴드 다이어그램을 개략적으로 도시하는 도면이다.
- [0100] 본 발명의 일 실시예에 따른 투명 시각피질에서는 산화티타늄층 및 산화니켈층의 이산화티타늄 및 산화니켈의 일함수($\Phi_{\text{TiO}_2} \approx 4.4\text{eV}$, $\Phi_{\text{NiO}} \approx 5.0\text{eV}$)의 차이가 0.6eV로서, 접촉 후 캐리어의 확산에 의해 접합부에서 공간 전하 영역(Space Charge Region, SCR)이 생성된다. 이와 같은 공간 전하 영역은 광 생성된 전자-정공 쌍을 분리할 뿐만 아니라, 각각의 n형 이산화티타늄 및 p형 산화니켈 내에서 재결합을 방지하여 광전지모드를 생성한다. 따라서 상기 투명 시각피질은 광 신호 입력 하에서 셀프-바이어스 조건으로 동작 가능하다.
- [0101] 도 6에는 측정된 밴드 갭 및 이산화티타늄 및 산화니켈의 일 함수에 기초하여 밴드 다이어그램을 도시하였다. 도 6을 참조하면 이산화티타늄 및 산화니켈은 각각 각각 3.3eV (n 형)와 3.8eV (p 형)의 E_g 값을 나타낸다.
- [0103] 도 7은 본 발명의 일 실시예에 따른 투명 시각피질의 I-V 곡선을 도시하는 도면이고, 도 8은 본 발명의 일 실시예에 따른 투명 시각피질의 광전지성능을 도시하는 도면이다.
- [0105] 상기 투명 시각피질의 특성을 확인하기 위하여 어두운 상태 및 자외선($\lambda = 365 \text{ nm}$, 15 mW/cm^2) 조사 상태에서 전류밀도-전압(J-V) 특성을 측정하였다.
- [0106] 도 7에 주황색으로 도시된 것과 같이, 어두운 상태에서의 비대칭, 비선형의 암전류 곡선은 상기 이산화티타늄 및 산화니켈 사이에 밴드 정렬이 형성되었음을 나타낸다.
- [0107] 또한 상기 투명 시각피질의 이상계수(ideality factor, n)는 다이오드 방정식 $J = J_0 \exp(eV/nkT)$ 을 사용하여 계산되었다. 이 때, J_0 는 포화 암전류, V 는 소자 양단의 전압, T 는 켈빈 온도, q 는 전자 전하, k 는 볼츠만 상수이다. 이 때 이상계수 n은 1.04로 나타났다.
- [0109] 또한, 도 8의 (a)를 참조하면 약 4.3mA/cm^2 의 높은 제로 바이어스 광전류(J_{ph}) 및 0.8V의 개방회로 전압(V_{oc})이 나타났다. 이는 상기 투명 시각피질의 일반적인 종 방향 광기전효과에 기인한다.
- [0110] 반면, 매우 낮은 암전류(약 5.11nA)가 나타났고, 광전류/암전류 비는 10^7 에 달하였다. 이는 일반적인 금속 산화물 광전지소자에 비해 매우 높은 값이다.
- [0111] 이에 기초하여 365nm의 파장에서 소자의 종 방향 광전지 효율(η)은 $\eta = P_{in} / P_{out}$ 과 같이 입력전력(P_{in}) 대 출력전력(P_{out})의 비율로 측정할 수 있다.
- [0112] 이와 같이 도출된 광전지 효율은 $J_{ph} \times V_{oc} \times FF$ (필 팩터, ~42%)에 의해 10.2%로 나타났다.
- [0114] 또한, 광전류는 광 강도에 따라 증가한다. 도 8의 (b)를 참조하면 광전류는 조사되는 자외선의 강도와 선형 관계를 나타내고, 30mW/cm^2 의 강도에서 10mA/cm^2 의 광전류밀도를 나타냈다. 이와 같이 광전류가 선형 관계를 나타냄으로써 응용장치에 적용 시 우수한 성능을 나타낼 수 있다.
- [0115] 또한 본 발명의 일 실시예에 따른 투명 시각피질의 헤테로 구조는 넓은 선형 동작 범위(Linear Dynamic Range,

LDR)을 가지고 있다. 상기 선형 동작 범위는 $LDR = 20 \log(J_{ph}/J_{dark})$ 와 같이 계산될 수 있다.

- [0116] 도 8의 (b)를 참조하면 본 발명의 일 실시예에 따른 투명 시각피질은 최대 140dB의 선형 동작 범위를 가질 수 있음을 확인할 수 있다.
- [0118] 도 9 및 도 10은 본 발명의 일 실시예에 따른 투명 시각피질의 산화니켈층의 광 조사에 따른 접촉전위차의 변화 분포를 개략적으로 도시하는 도면이다.
- [0120] 전술한 바와 같이, 본 발명의 일 실시예에 따른 투명 시각피질은 불 균일한 조명에 의한 불 균일한 전하 캐리어 밀도가 형성되는 것이 핵심 동작원리이다. 불 균일한 조명에 의해 불 균일한 전자-정공 쌍의 생성을 유도할 수 있고, 그 결과 평면에서의 정전기 전위 그래디언트가 형성될 수 있다. 따라서, 산화니켈층에서 광 유도된 나노 스케일 정전기 전위 생성을 확인하기 위해, 어두운 상태 및 광 조사 상태에서 산화니켈층 및 산화티타늄층의 헤테로 구조 상부에서 Kelvin probe force microscopy(KPFM) 측정을 수행하였다. 캔틸레버 법선에 대해 기울어진 직경 약 20nm 의 특별한 Pt/Ir 코팅 Si 프로브(ATEC-CONTPt)를 사용하였다.
- [0121] 도 9에는 이와 같이 측정된 접촉전위차(Contact Potential Difference, CPD)가 도시되어 있다.
- [0122] 우선, 어두운 상태에서 광 조사 상태까지의 접촉전위차의 변화($\Delta CPD = CPD_{illumination} - CPD_{dark}$)를 측정하였다. 이와 같은 측정은 프로브를 위에서 아래로 스캔 하면서 수행되었고, 초기에 상기 투명 시각피질은 어두운 상태에 위치하였다. 이 때 측정된 어두운 상태에서의 측정값을 기준값으로 사용하였고, 이는 도 9의 상단에 파란색으로 표시되어 있다.
- [0123] 도 9를 참조하면 접촉전위차는 조명을 켜 이후 매우 빠르게 증가한다. 반면, 조명을 끈 후에 접촉전위차가 감소하기는 하지만 약 5분간 스캐닝 하는 동안 초기의 기준값으로 회복되지 않았다. 이와 같은 광 조사에 의한 접촉전위차의 변화는 산화니켈층/산화티타늄층/FTO층의 헤테로 구조에서 최상위의 산화니켈층이 양전하로 대전됨을 의미한다. 즉, 산화니켈층이 초과 생성된 정공을 포함함을 나타낸다.
- [0125] 또한, 도 10의 (a)에는 1차적으로 빛을 조사하여 접촉전위차를 측정된 결과가 도시되어 있고, 도 10의 (b)에는 10분이 경과한 후 동일 위치에서의 접촉전위차를 측정된 결과가 도시되어 있다.
- [0126] 도 10을 참조하면 두 번째 측정에서는 지속적으로 접촉전위차의 변화가 0에 가깝게 나타났다. 이는 상기 산화니켈층의 초과 생성된 정공이 중화되지 않고, 지속적으로 유지됨을 나타낸다.
- [0128] 도 11은 본 발명의 일 실시예에 따른 투명 시각피질의 산화니켈층의 광 조사에 따른 접촉전위차의 변화 프로파일을 개략적으로 도시하는 도면이다.
- [0130] 이와 같은 접촉전위차의 변화를 정량적으로 설명하기 위하여 도 11에는 도 9에 수직으로 그어진 백색 점선에 대응되는 접촉전위차 프로파일이 도시되어 있다.
- [0131] 도 11을 참조하면 빛이 조사되면 접촉전위차가 급격히 증가하여 최대값인 0.412V에 도달하고, 이는 개방회로전압(V_{oc}) 0.8V의 절반에 가깝다. 즉, 빛이 조사되면 즉시 접합부의 내부 전위에 의해 전자-정공 쌍을 생성함을 알 수 있다. 이 중 정공은 산화니켈층의 상부로 이동하는 반면, 전자는 산화티타늄층의 하부로 이동하여 접촉전위차가 급격히 증가함을 알 수 있다.
- [0132] 다만 이와 같은 동작 중 전자-정공 쌍은 다시 재조합 될 수 있다. 지속적인 광 조사 시 전자-정공 쌍의 생성 및 재조합은 정적 평형을 형성하여 접촉전위차의 포화를 발생시키게 된다.
- [0133] 반면 도 6에 도시된 것과 같은 밴드 정렬 때문에 정공이 산화니켈층에서 산화티타늄층으로 이동하는 것은 어렵게 된다. 따라서 조명이 꺼진 후에 정공은 산화니켈층에 잔류하게 되고, 결과적으로 접촉전위차는 전자-정공 쌍의 재조합을 통해 서서히 초기 상태로 복귀하게 된다.
- [0135] 도 12는 본 발명의 일 실시예에 따른 투명 시각피질의 산화니켈층의 광 조사에 따른 접촉전위차의 변화와 광 강도의 관계를 개략적으로 도시하는 도면이다.
- [0137] 도 12에는 접촉전위차의 변화가 광 강도에 대한 함수로 도시되어 있다. 이와 같이 도시된 접촉전위차와 광 강도의 관계는 $d(CPD)/d \ln(P) = \alpha(k_B T)/q$ 의 식으로 나타낼 수 있다. 이 때, P는 광 강도, α 는 재결합 과정과 관련된 상수, k_B 는 볼츠만 상수, T는 절대 온도, q는 전자 전하이다. 일반적으로 $\alpha=1$ 인 경우 밴드간 전이가 재

조합의 주요 인자임을 나타내고, $\alpha=2$ 인 경우 결합 증대된 Shockley-Read-Hall(SRH) 재조합 과정임을 나타낸다.

- [0138] 초기에 접촉전위차는 광 강도에 따라 선형적으로 증가했지만, 광 강도가 높아지면서 선형에서 벗어난다. 낮은 광 강도에서 적합된 $\alpha=1.3$ 은 SRH 과정이 재조합 과정에 기여함을 나타낸다. 따라서 조명이 꺼진 후 감소하는 접촉전위차는 밴드간 전이 및 SRH 재조합 과정에 기인함을 알 수 있다.
- [0140] 도 13은 본 발명의 일 실시예에 따른 투명 시각피질의 접촉전위차 변화 측정을 위한 실험 설정을 개략적으로 도시하는 도면이고, 도 14는 본 발명의 일 실시예에 따른 투명 시각피질에 비대칭 조명을 조사하는 모습을 개략적으로 도시하는 도면이다.
- [0142] 전술한 특성에 따르면 자외선이 상기 투명 시각피질의 일부에만 조사되고, 나머지는 어두운 상태에 있는 경우, 공간적으로 접촉전위차가 변경될 것으로 예측된다.
- [0143] 이와 같은 예측을 확인하기 위하여 도 13의 (a)에 도시된 것과 같은 실험을 수행하였다. 도 13의 (a)에서와 같이 절반은 어두운 상태로, 절반은 빛을 조사하는 경우 생성되는 접촉전위차의 그래디언트로 인해 평면상의 전하 이동을 발생시킬 수 있다.
- [0145] 도 14의 (a)에서는 좌측의 조명강도 P_1 , 중간 조명강도 P_2 및 우측의 조명강도 P_3 의 관계가 $P_1 > P_2 > P_3$ 인 상태가 도시되어 있고, 도 14의 (b)에서는 $P_1 = P_2 = P_3$ 인 상태가 도시되어 있고, 도 14의 (c)에서는 $P_1 < P_2 < P_3$ 인 상태가 도시되어 있다.
- [0147] 도 15는 본 발명의 일 실시예에 따른 투명 시각피질에 비대칭 조명을 조사하여 측정된 광기전력을 도시하는 도면이다.
- [0148] 도 15에는 상기 도 14에서와 같은 불 균일한 조명에 의해 생성된 면 내 광전압이 도시되어 있다. 도 14의 (a)의 조명에 의해 생성된 면 내 광전압이 청록색으로, 도 14의 (b)의 조명에 의해 생성된 면 내 광전압이 파란색으로, 도 14의 (c)의 조명에 의해 생성된 면 내 광전압이 주황색으로 도시되어 있다.
- [0149] 도 15에 도시된 것과 같이, 생성되는 면 내 광전압의 극성은 불 균일 조명의 위치에 따라 결정된다. 도 14의 (a)의 조명에서와 같이 $P_1 > 0, P_3 = 0$ 과 같은 자외선 조명(15 mW/cm^2)이 좌측에 조사되는 경우 양의 광전압(약 80mV)이 생성된다. 반면, 도 14의 (c)의 조명에서와 같이 $P_1 = 0, P_3 > 0$ 과 같은 자외선 조명을 우측에 조사하는 경우 광전압의 극성은 음으로 바뀐다.
- [0150] 이와 같은 극성의 변화는 매우 빠르게 나타난다. 본 발명의 일 실시예에서 상기 투명 시각피질은 상기 산화니켈층 위의 전극층을 포함할 수 있고, 상기 전극층은 은나노와이어(AgNWs)를 포함할 수 있다. 이와 같은 은나노와이어 전극층이 존재하지 않더라도 광전압이 생성되지만, 충분한 광전류가 형성되지 않았다. 이는 전하 캐리어의 확산 길이가 짧기 때문에 전극층이 없이는 뚜렷한 광전류가 나타나지 않았다.
- [0152] 도 16은 본 발명의 일 실시예에 따른 투명 시각피질에 비대칭 조명을 조사하여 측정된 광전류와 광 강도의 관계를 개략적으로 도시하는 도면이다.
- [0153] 도 16을 참조하면 평면 내 광전류는 빛을 조사하는 위치뿐만 아니라, 조사하는 광 강도에 따라서도 달라지는 것을 확인할 수 있다. 실제로 도 12에 도시된 것과 같이, 접촉전위차가 광 강도에 따라 달라지기 때문에 광전류 또한 달라짐을 알 수 있다.
- [0155] 도 17은 본 발명의 일 실시예에 따른 투명 시각피질의 반복된 조명 사이클에 대한 광 응답을 도시하는 도면이다.
- [0157] 도 17을 참조하면 자외선 펄스($\lambda = 365 \text{ nm}, 15 \text{ mW/cm}^2$) 하에서 측정된 평면 내 광전류의 과도 응답을 확인할 수 있다. 도 17의 (a)에는 반복되는 펄스 입력에 대한 과도 응답이 도시되어 있고, 도 17의 (b)에는 하나의 펄스에 대한 응답이 도시되어 있다.
- [0158] 도 17의 (b)에서는 과도 응답에서의 상승시간(τ_{rise}) 및 쇠퇴시간(τ_{decay})이 계산되었으며, 각각 3ms 및 6ms로 나타났다. 컷 오프 주파수($f_{3\text{dB}}$)는 $f_{3\text{dB}} = 0.35 / \tau_{\text{rise}}$ 의 식에 의해 도출될 수 있고, 116Hz로 나타났다.
- [0160] 도 18, 도 19 및 도 20은 본 발명의 일 실시예에 따른 투명 시각피질의 방향에 따른 광 응답을 도시하는 도면이

다.

- [0162] Hubel과 Wiesel의 이론에 따르면 시각피질 세포의 출력은 빛의 방향에 민감하다. 따라서, 본 발명의 일 실시예에 따른 투명 시각피질에서 이와 유사한 거동이 구현됨을 확인하기 위하여 직사각형 슬릿(폭: 1mm, 길이: 3cm)을 통해 연속적인 자외선($\lambda = 365 \text{ nm}$, 강도: 15 mW/cm^2)을 본 발명의 일 실시예에 따른 투명 시각피질에 조사하였다. 도 18의 (a) 및 도 18의 (d)에 이와 같은 측정에 대한 개념도가 도시되어 있다.
- [0163] 이와 같은 특정 스캐닝 방향(도 18의 (a)에서는 x축, 도 18의 (d)에서는 y축)에 따라 측정된 광전류가 도 18의 (b) 및 (e)에 각각 도시되어 있다.
- [0164] 이 때, 도 18의 (a)에서와 같이 슬릿을 x축 방향으로 이동시키면서 측정한 결과를 나타낸 도 18의 (b)를 참조하면 광전류가 검출되지 않았음을 확인할 수 있다. 이는 도 18의 (a)에서와 같은 실험에서 자외선 조명으로부터 두 점점까지의 유효 거리는 동일하게 유지되기 때문에 전하 캐리어 그래디언트가 형성되지 않아 광전류가 생성되지 않기 때문이다. 도 18의 (c)에서와 같이 자외선 조명의 광 강도를 증가하여도 광전류가 나타나지 않음을 확인할 수 있다.
- [0166] 반면, 도 18의 (d)에서와 같이 슬릿을 y축 방향으로 이동시키면서 측정한 결과를 나타낸 도 18의 (e)를 참조하면 초기에 $-80 \mu\text{A}$ 의 높은 광전류가 검출되었다. 또한, 슬릿을 한쪽의 점점에서부터 다른 점점으로 이동시키으로써 광전류의 방향이 점차적으로 변화하여 음수에서 양수로 변화하였다.
- [0167] 즉, 빛이 하나의 점점에 조사되고 다른 점점이 어두운 상태로 있을 때, 상당한 캐리어 그래디언트가 그 사이에 전개되어 광전류를 발생시키게 된다. 이와 같은 광전류는 도 18의 (f)에 도시된 것과 같이 조명의 강도 및 조명의 위치에 따라 크게 변화하였다.
- [0168] 이와 같은 결과는 본 발명의 일 실시예에 따른 투명 시각피질이 슬릿의 방향에 매우 민감함을 나타내고, 이는 인간의 시각피질 세포의 특징과 유사하다.
- [0170] 또한, 본 발명의 일 실시예에 따른 투명 시각피질은 빛이 조사되는 위치에 매우 민감하다. 이를 확인하기 위하여 원형(직경 2mm)으로 자외선($\lambda = 365\text{nm}$, 강도: 15mW/cm^2)을 조사하였고, 조명의 좌표(x,y)를 변화시켜 자외선 펄스를 조사하면서 광전류를 측정하였다. 도 19의 (a)에는 이와 같은 측정에 대한 개념도가 도시되어 있고, 도 19의 (b)에는 측정의 결과가 도시되어 있다.
- [0171] 도 19의 (b)를 참조하면 조명의 위치에 따른 광전류의 크기를 확인할 수 있다. 결과적으로 조명의 위치가 점점에 가까울수록 광전류의 세기가 강해지고, 조명과 점점 사이의 거리를 증가시킴으로써 광전류의 세기가 약해지는 것을 확인할 수 있다.
- [0172] 즉, 본원 발명의 일 실시예에 따른 투명 시각피질에서 광전류의 세기는 광 자극의 위치에 따라 달라짐으로써, 광 자극의 위치를 인식할 수 있는 효과를 발휘할 수 있다.
- [0174] 또한, 본 발명의 일 실시예에 따른 투명 시각피질의 방향 감도를 확인하기 위하여 도 20의 (a)에 도시된 바와 같이 슬릿을 회전시키면서 광전류를 측정하였다.
- [0175] 도 20의 (b)에는 상기 도 20의 (a)에서와 같이 슬릿의 방향에 따라 측정된 광전류가 도시되어 있다. 도 20의 (b)를 참조하면, 예측된 바와 같이 측정된 광전류는 슬릿의 방향에 매우 민감하였다.
- [0176] 또한 도 20의 (c)는 다양한 자외선 강도 및 회전각도에 따른 광전류의 변화를 도시한다. 도 20의 (c)를 참조하면, 광전류가 슬릿의 방향 및 광 강도에 따라 변화하며, 슬릿의 방향에 대한 민감성을 다시 확인할 수 있다.
- [0178] 이상과 같이 본 발명의 일 실시예에 따른 투명 시각피질은 인간의 시각피질의 기본적인 기능을 모방할 수 있다. 이와 같은 기능은 불 균일한 광 조사에 의해 생성되는 횡 방향(층 내) 광기전효과에 따른 광전류를 형성함으로써 구현된다.
- [0180] 본 발명의 일 실시예에 따르면, 단순한 구조로 시각피질의 기능을 수행할 수 있는 인공 투명 시각피질을 제공하는 효과를 발휘할 수 있다.
- [0181] 본 발명의 일 실시예에 따르면 가시광선 영역에서 높은 투명성을 갖는 투명 시각피질을 제공하는 효과를 발휘할 수 있다.
- [0182] 본 발명의 일 실시예에 따른 투명 시각피질은 광 자극을 직접 입력 받아 광전류를 생성함으로써 시각피질의 기

능을 수행할 수 있는 효과를 발휘할 수 있다.

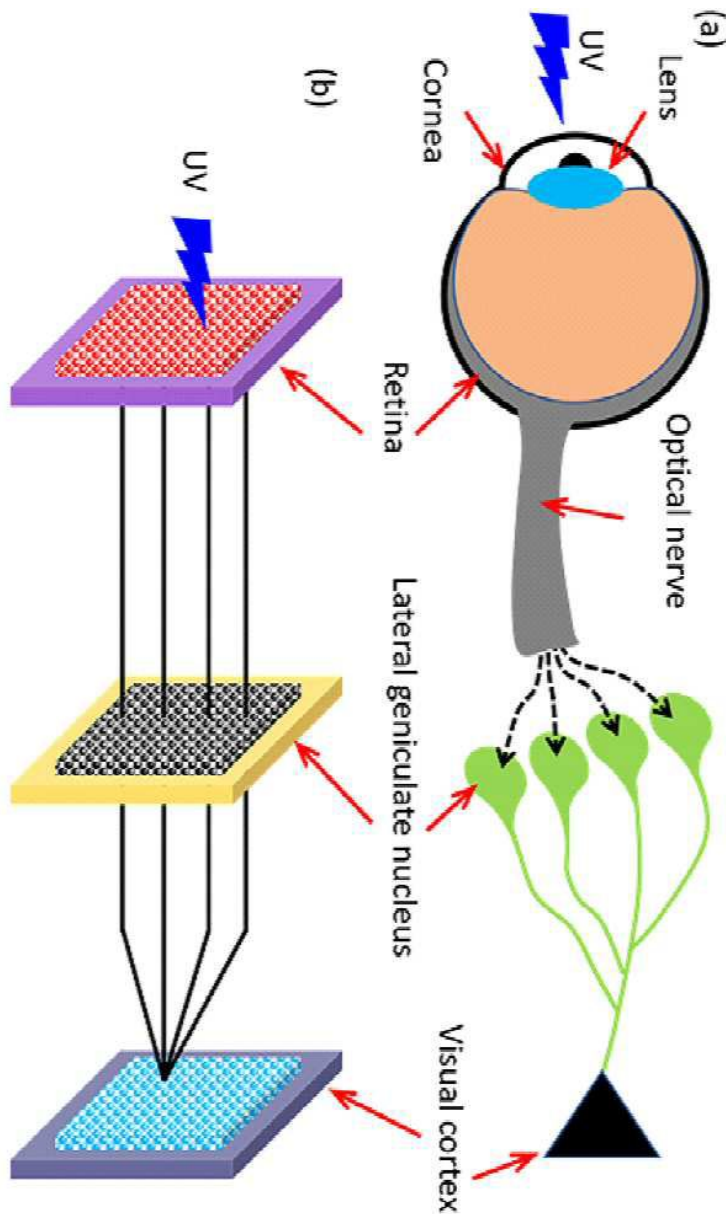
[0183] 본 발명의 일 실시예에 따른 투명 시각피질은 헤테로 구조에 의해 셸프-바이어스 동작 가능한 효과를 발휘할 수 있다.

[0184] 본 발명의 일 실시예에 따른 투명 시각피질은 광 자극의 방향을 감지함으로써 시각피질의 기능을 수행하는 효과를 발휘할 수 있다.

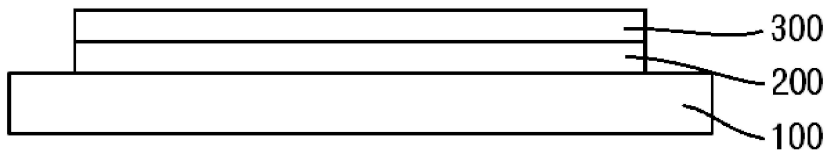
[0186] 제시된 실시예들에 대한 설명은 임의의 본 발명의 기술 분야에서 통상의 지식을 가진 자가 본 발명을 이용하거나 또는 실시할 수 있도록 제공된다. 이러한 실시예들에 대한 다양한 변형들은 본 발명의 기술 분야에서 통상의 지식을 가진 자에게 명백할 것이며, 여기에 정의된 일반적인 원리들은 본 발명의 범위를 벗어남이 없이 다른 실시예들에 적용될 수 있다. 그리하여, 본 발명은 여기에 제시된 실시예들로 한정되는 것이 아니라, 여기에 제시된 원리들 및 신규한 특징들과 일관되는 최광의 범위에서 해석되어야 할 것이다.

도면

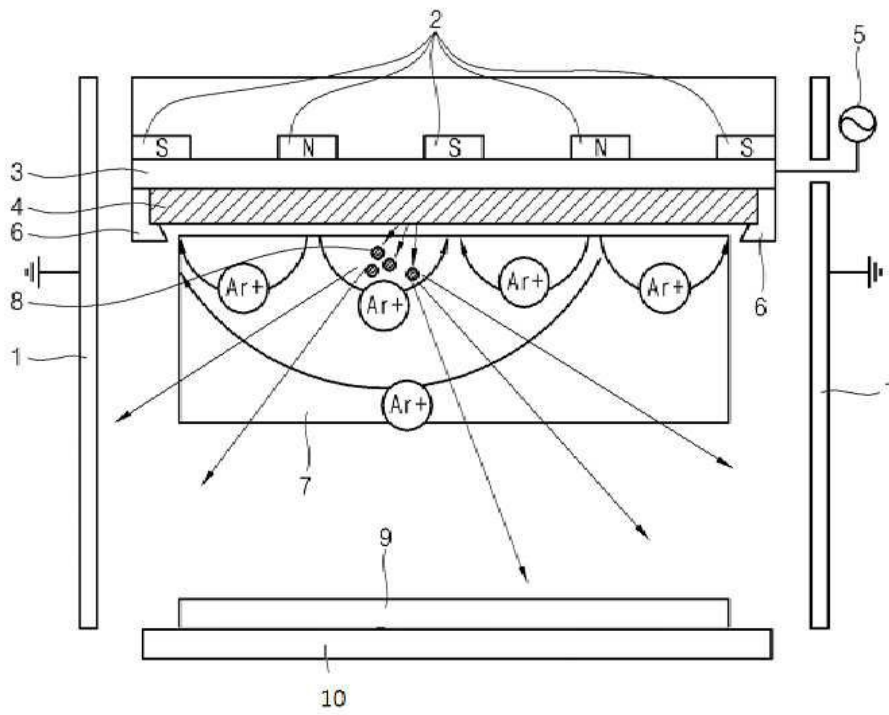
도면1



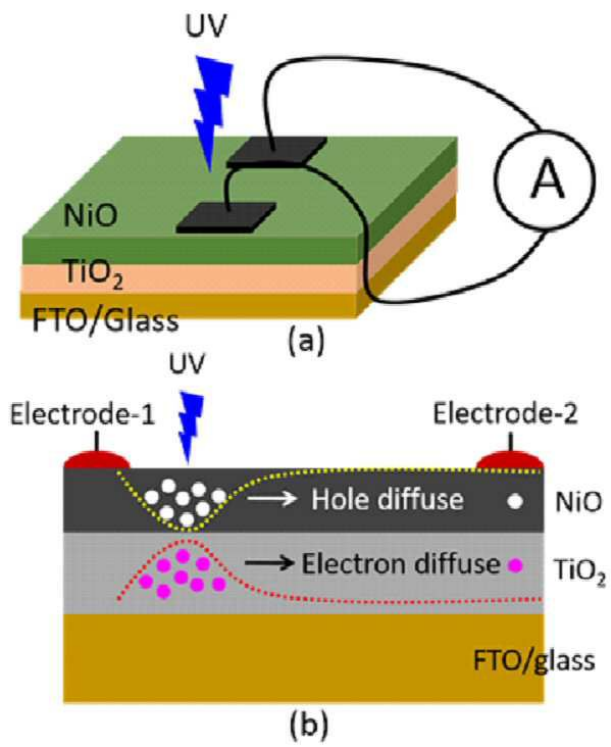
도면2



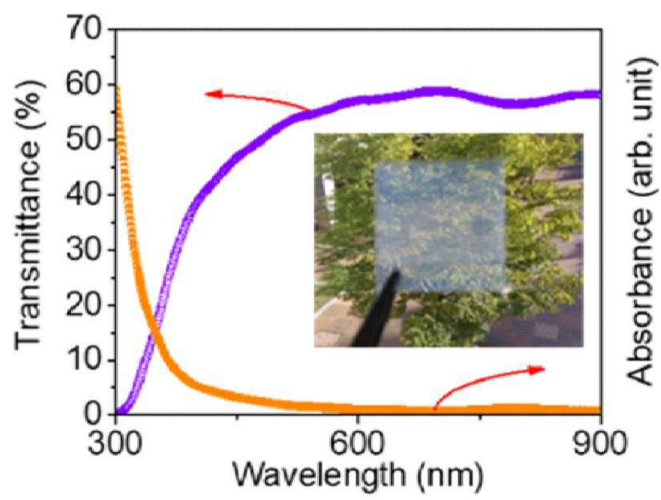
도면3



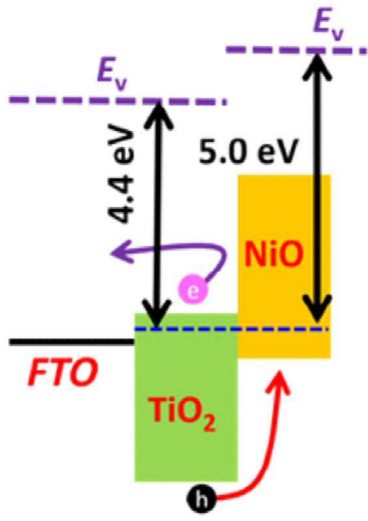
도면4



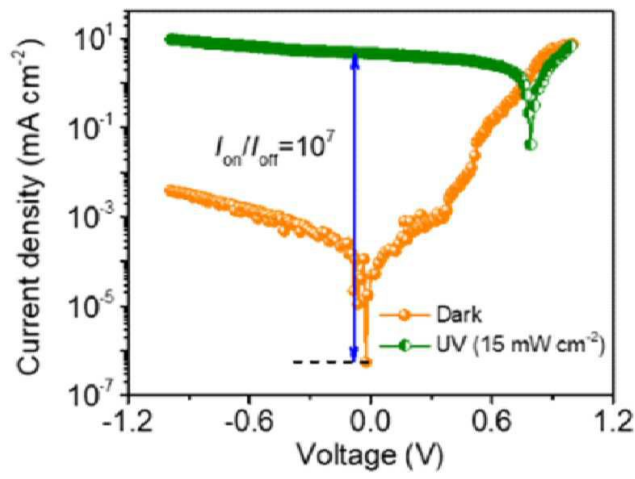
도면5



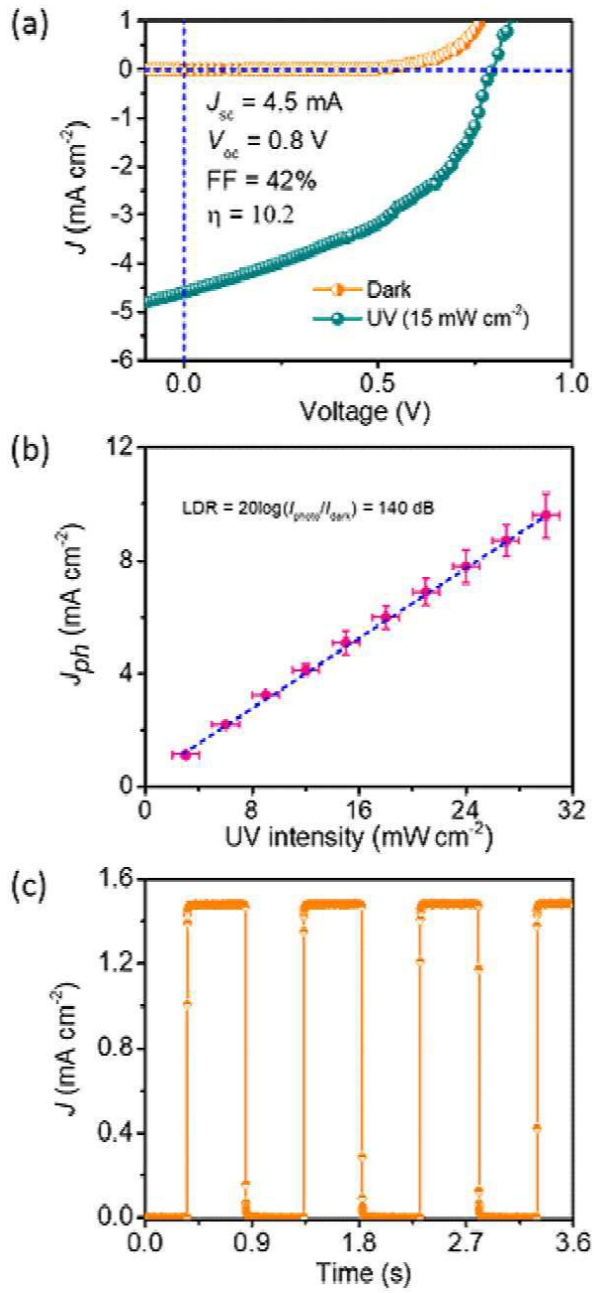
도면6



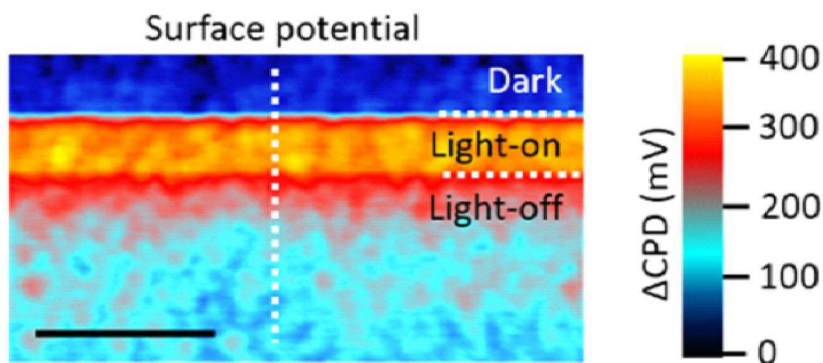
도면7



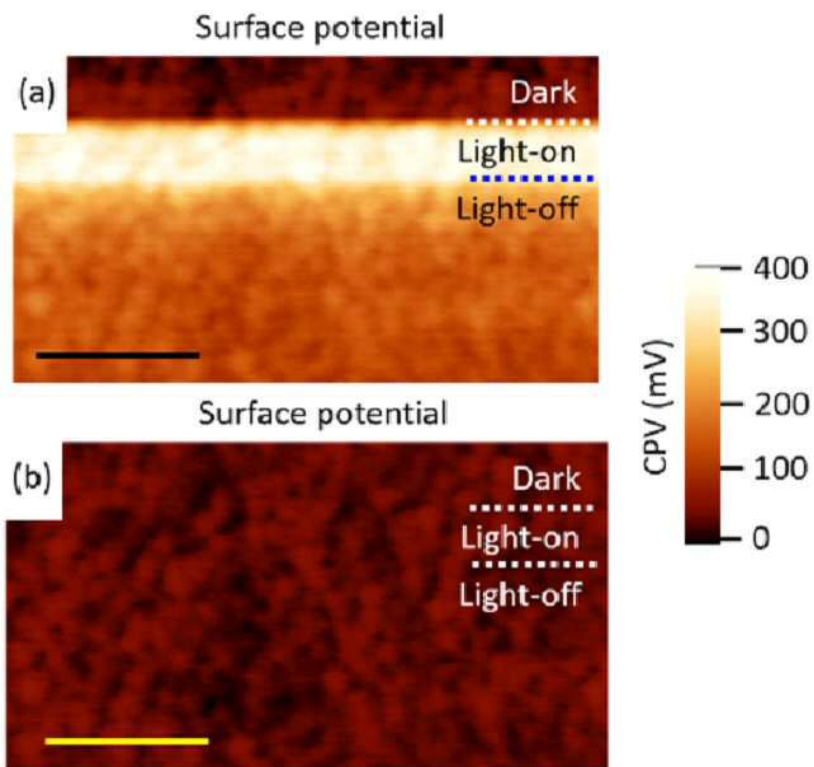
도면8



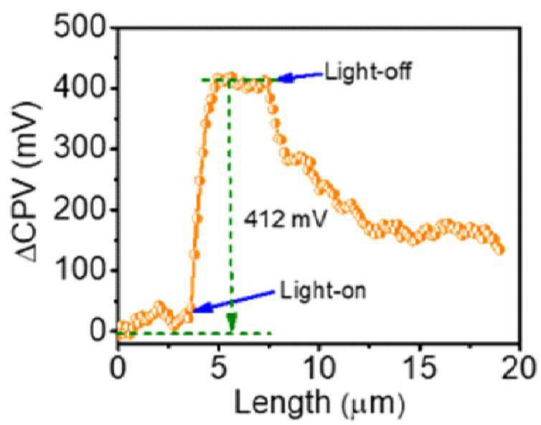
도면9



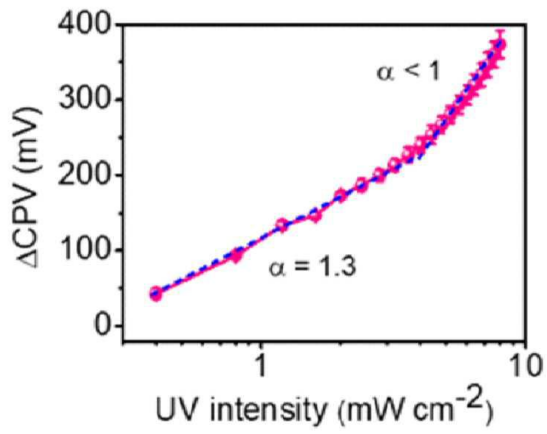
도면10



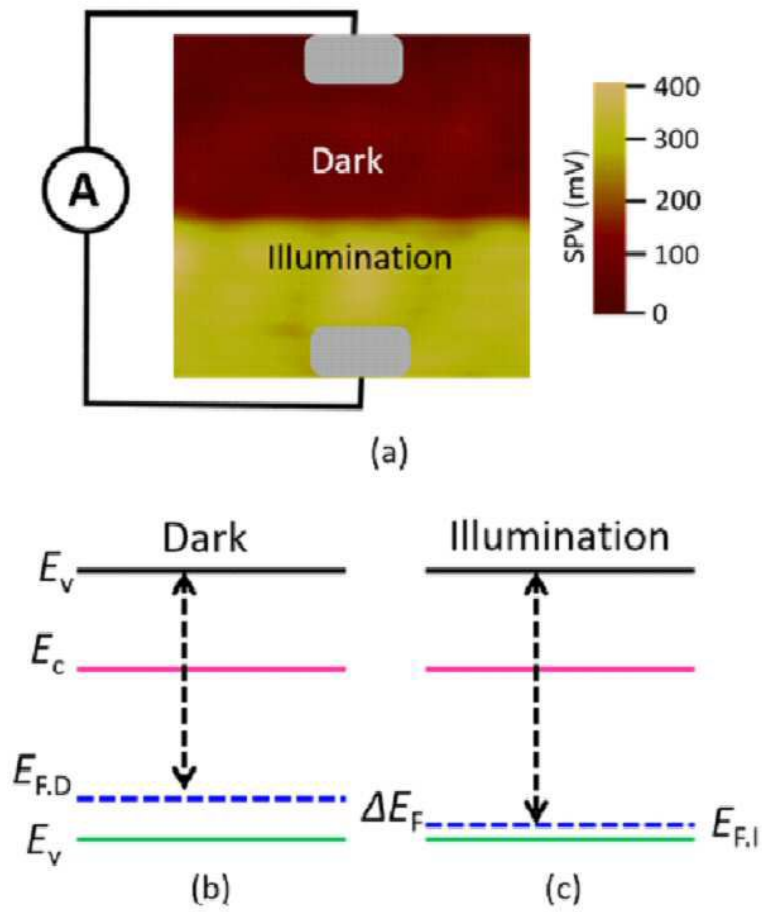
도면11



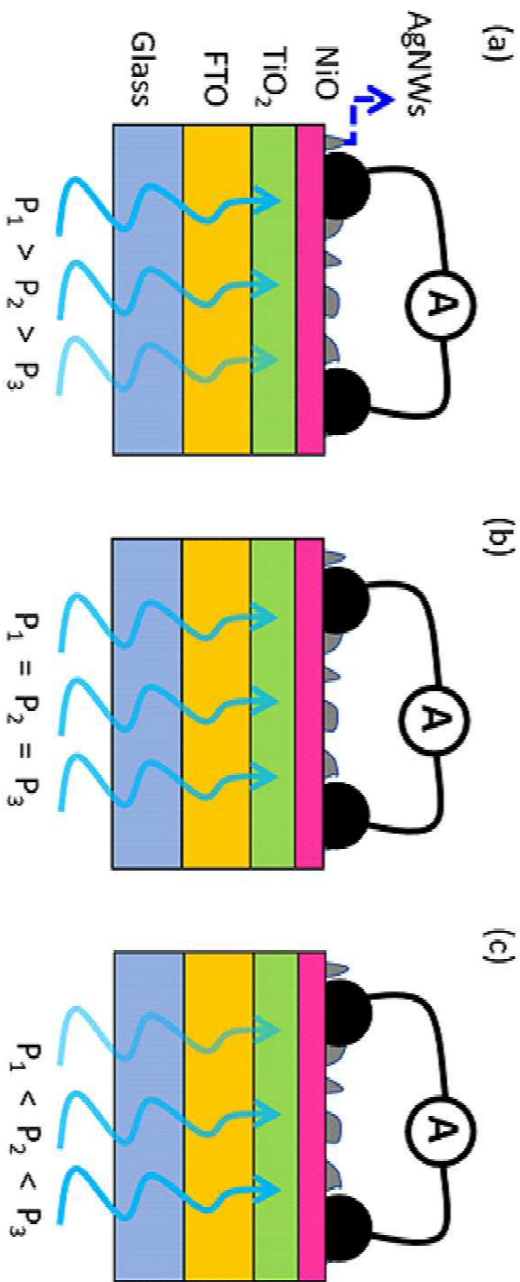
도면12



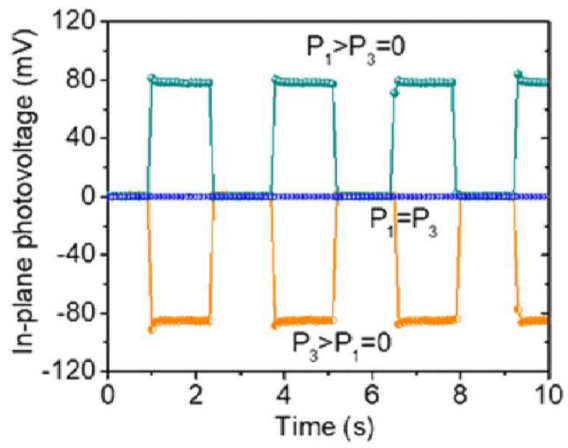
도면13



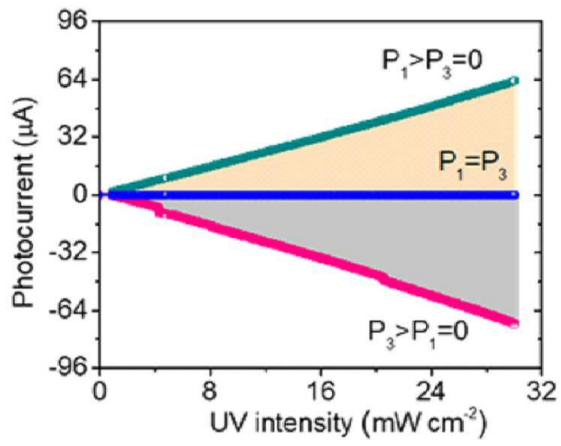
도면14



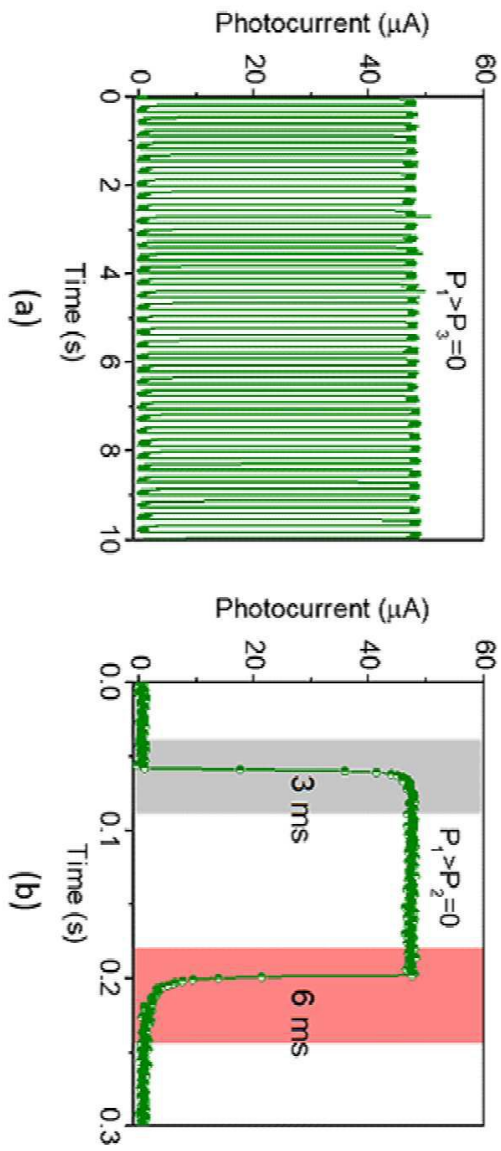
도면15



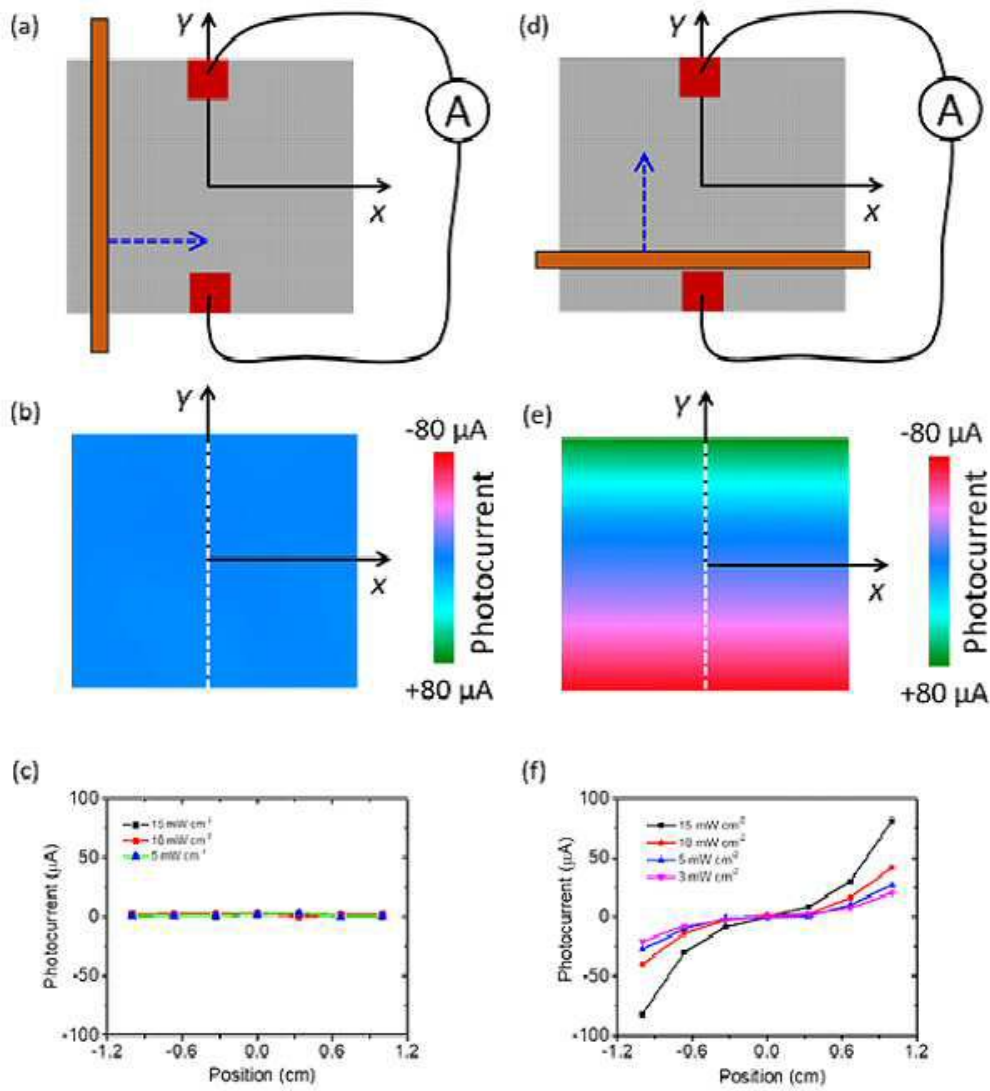
도면16



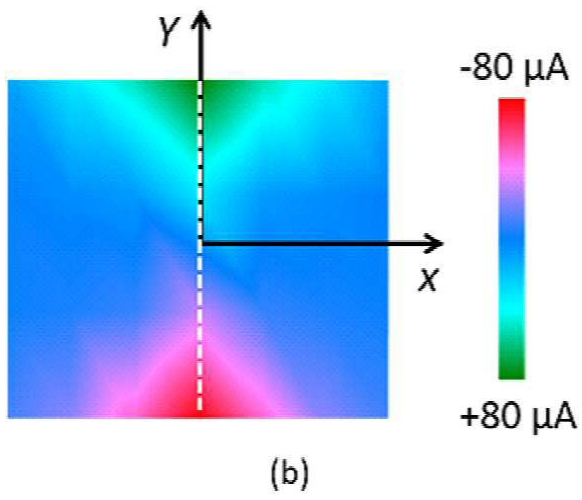
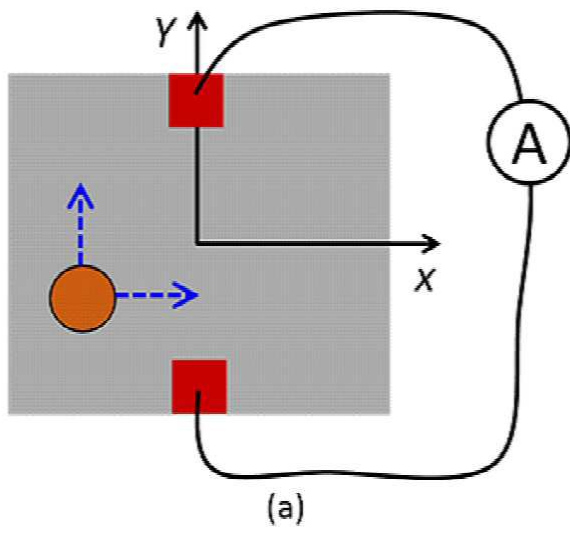
도면17



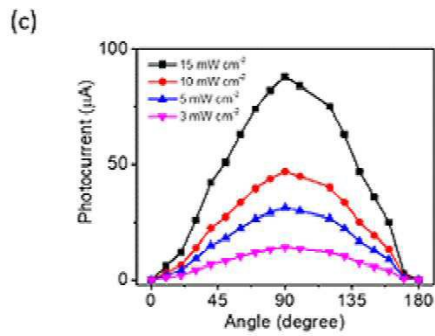
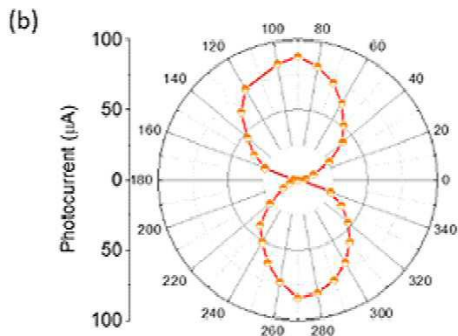
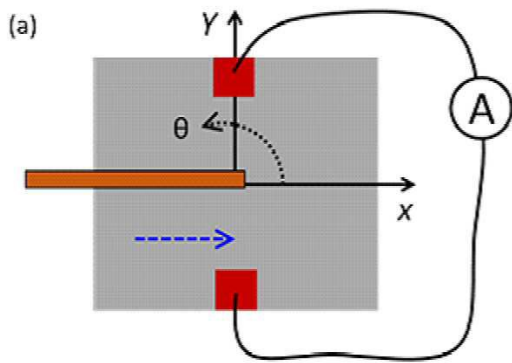
도면18



도면19



도면20



【심사관 직권보정사항】

【직권보정 1】

【보정항목】 청구범위

【보정세부항목】 청구항 1

【변경전】

투명 시각피질로서,

FTO층;

상기 FTO층 위의 산화티타늄층;

상기 산화티타늄층 위의 산화니켈층;

상기 산화니켈층 상층의 일부에 형성된 제1전극; 및

상기 산화니켈층 상층의 일부에 상기 제1전극과 이격되어 형성된 제2전극;을 포함하고,

상기 산화티타늄층 및 상기 산화니켈층은 헤테로 구조를 형성하고,

상기 투명 시각피질은 평면 상에서 불균일한 광 조사에 의해 불균일한 전하 캐리어밀도가 형성되고, 평면에서의 정전기 전위 그래디언트가 형성될 수 있는, 투명 시각피질.

【변경후】

투명 시각피질로서,

FTO(Fluorine doped Tin Oxide)층;

상기 FTO층 위의 산화티타늄층;

상기 산화티타늄층 위의 산화니켈층;

상기 산화니켈층 상층의 일부에 형성된 제1전극; 및

상기 산화니켈층 상층의 일부에 상기 제1전극과 이격되어 형성된 제2전극;을 포함하고,

상기 산화티타늄층 및 상기 산화니켈층은 헤테로 구조를 형성하고,

상기 투명 시각피질은 평면 상에서 불균일한 광 조사에 의해 불균일한 전하 캐리어밀도가 형성되고, 평면에서의 정전기 전위 그래디언트가 형성될 수 있는, 투명 시각피질.

【직권보정 2】

【보정항목】 청구범위

【보정세부항목】 청구항 8

【변경전】

투명 시각피질의 제조방법으로서,

FTO층을 배치하는 단계;

상기 FTO층 위에 산화티타늄층을 배치하는 단계;

상기 산화티타늄층 위에 산화니켈층을 배치하는 단계;

상기 산화니켈층 상층의 일부에 형성된 제1전극을 배치하는 단계; 및

상기 산화니켈층 상층의 일부에 상기 제1전극과 이격되어 형성된 제2전극을 배치하는 단계;를 포함하고,

상기 산화티타늄층 및 상기 산화니켈층은 헤테로 구조를 형성하고,

상기 투명 시각피질은 평면 상에서 불균일한 광 조사에 의해 불균일한 전하 캐리어밀도가 형성되고, 평면에서의 정전기 전위 그래디언트가 형성될 수 있는, 투명 시각피질의 제조방법.

【변경후】

투명 시각피질의 제조방법으로서,

FTO층을 배치하는 단계;

상기 FTO층 위에 산화티타늄층을 배치하는 단계;

상기 산화티타늄층 위에 산화니켈층을 배치하는 단계;

상기 산화니켈층 상층의 일부에 형성된 제1전극을 배치하는 단계; 및

상기 산화니켈층 상층의 일부에 상기 제1전극과 이격되어 형성된 제2전극을 배치하는 단계;를 포함하고,

상기 산화티타늄층 및 상기 산화니켈층은 헤테로 구조를 형성하고,

상기 투명 시각피질은 평면 상에서 불균일한 광 조사에 의해 불균일한 전하 캐리어밀도가 형성되고, 평면에서의 정전기 전위 그래디언트가 형성될 수 있는, 투명 시각피질의 제조방법.