



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2023-0148666
(43) 공개일자 2023년10월25일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
H01L 31/108 (2006.01) H01L 31/112 (2006.01)
H01L 31/18 (2006.01)
(52) CPC특허분류
H01L 31/108 (2013.01)
H01L 31/1121 (2013.01)
(21) 출원번호 10-2022-0047742
(22) 출원일자 2022년04월18일
심사청구일자 2022년04월18일

(71) 출원인
경희대학교 산학협력단
경기도 용인시 기흥구 덕영대로 1732 (서천동, 경희대학교 국제캠퍼스내)
(72) 발명자
최재우
서울특별시 송파구 송파대로 567, 507동 804호(잠실동, 잠실주공아파트)
조연수
경기도 용인시 수지구 용구대로2771번길 68, 105동 402호(죽전동, 벽산타운1단지)
김현아
서울특별시 동대문구 회경로 60, 102동 1403호(회경동, 회경에스케이뷰)
(74) 대리인
김연권

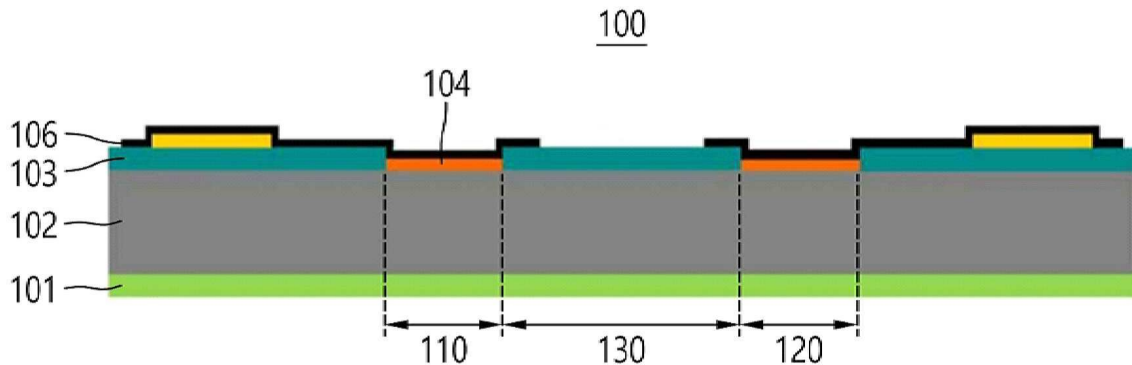
전체 청구항 수 : 총 17 항

(54) 발명의 명칭 무필터 양측 다수 캐리어 유형 컬러 광센서 및 그 제조 방법

(57) 요약

본 발명은 무필터 양측 다수 캐리어 유형(majority carrier type) 컬러 광센서 및 그 제조 방법에 관한 것으로, 보다 구체적으로, 삽입층(insertion layer) 및 투명도가 높고 전하 캐리어 이동도가 높은 그래핀을 이용한 BTB(back-to-back) 쇼트키 다이오드를 기반으로 하는 무필터 양측 다수 캐리어 유형 컬러 광센서를 구현하는 기술에 관한 것으로, 본 발명의 일실시예에 따르면 제1 접합(junction) 영역 및 제2 접합 영역을 포함하고, 상기 제1 접합 영역 및 상기 제2 접합 영역 사이에 공백(gap) 영역을 포함하며, 상기 제1 접합 영역 및 상기 제2 접합 영역 중 어느 하나의 접합 영역과 상기 공백 영역은 제1 인터페이스(IS-1), 제2 인터페이스(IS-2) 및 제3 인터페이스(IS-3)를 이루고, 광이 입사하는 경우에, 상기 제1 인터페이스(IS-1)에서의 광 전류 생성 값과 상기 제3 인터페이스(IS-3)에서의 광 전류 생성 값의 차이에 기반하여 상기 입사하는 광의 컬러를 검출할 수 있다.

대표도 - 도1



(52) CPC특허분류

H01L 31/18 (2021.01)

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호	1711147913
과제번호	2019R1F1A1063643
부처명	과학기술정보통신부
과제관리(전문)기관명	(통합)한국연구재단
연구사업명	(혁신법) 기본연구
연구과제명	[기본, 3/3]대면적화 가능한 유연성 그래핀 기반 다수인자 이미지 센서들
기 여 율	1/1
과제수행기관명	경희대학교
연구기간	2019.06.01 ~ 2022.05.31

명세서

청구범위

청구항 1

제1 접합(junction) 영역 및 제2 접합 영역을 포함하고,

상기 제1 접합 영역 및 상기 제2 접합 영역 사이에 공백(gap) 영역을 포함하며,

상기 제1 접합 영역 및 상기 제2 접합 영역 중 어느 하나의 접합 영역과 상기 공백 영역은 제1 인터페이스(IS-1), 제2 인터페이스(IS-2) 및 제3 인터페이스(IS-3)를 이루고,

광이 입사하는 경우에, 상기 제1 인터페이스(IS-1)에서의 광 전류 생성 값과 상기 제3 인터페이스(IS-3)에서의 광 전류 생성 값의 차이에 기반하여 상기 입사하는 광의 컬러를 검출하는 것을 특징으로 하는

컬러 광센서.

청구항 2

제1항에 있어서,

상기 제1 접합 영역 및 상기 제2 접합 영역 중 어느 하나의 접합 영역은,

BOX(buried oxide) 층;

상기 BOX(buried oxide) 층 상에 위치하는 디바이스층;

상기 디바이스층 상에 위치하는 삽입층; 및

상기 삽입층 상에 위치하는 그래핀층을 포함하는 것을 특징으로 하는

컬러 광센서.

청구항 3

제1항에 있어서,

상기 공백 영역은,

BOX(buried oxide) 층;

상기 BOX(buried oxide) 층 상에 위치하는 디바이스층;

상기 디바이스층 상에 위치하는 표면 처리 산화물층; 및

상기 표면 처리 산화물층의 일부분에 위치하는 그래핀층을 포함하는 것을 특징으로 하는

컬러 광센서.

청구항 4

제1항에 있어서,

상기 제1 인터페이스(IS-1)는 상기 어느 하나의 접합 영역에 포함되는 삽입층과 디바이스층 간에 인터페이스이고,

상기 제2 인터페이스(IS-2)는 상기 어느 하나의 접합 영역 및 상기 공백 영역에 포함되는 BOX(buried oxide) 층과 상기 디바이스층 간에 인터페이스이며,

상기 제3 인터페이스(IS-3)는 상기 공백 영역에 포함되는 표면 처리 산화물층과 상기 디바이스층 간에 인터페이스인 것을 특징으로 하는

컬러 광센서.

청구항 5

제4항에 있어서,

상기 디바이스층의 두께는, $0.5\ \mu\text{m}$ 내지 $3\ \mu\text{m}$ 인 것을 특징으로 하는 컬러 광센서.

청구항 6

제5항에 있어서,

상기 컬러 광센서는, 상기 디바이스층의 두께가 상기 $0.5\ \mu\text{m}$ 내지 $3\ \mu\text{m}$ 에 따라 상기 입사하는 광의 파장이 증가하면 광전류가 감소하여 상기 광전류의 광 생성 캐리어의 생성비에 기반하여 상기 입사하는 광의 파장에 따른 상기 입사하는 광의 컬러를 검출하는 것을 특징으로 하는

컬러 광센서.

청구항 7

제1항에 있어서,

상기 제1 인터페이스(IS-1)는, 상기 어느 하나의 접합 영역에 포함되는 삽입층과 디바이스층에서 상기 삽입층이 상기 삽입층 상의 그래핀층과 상기 디바이스층 사이에 터널링 장벽에 작용하는 산화물 전압에 의한 다수 캐리어에 대한 쇼트키 장벽 높이(Schottky Barrier Height, SBH)의 광유도 변조(modulation)를 허용하는 것을 특징으로 하는

컬러 광센서.

청구항 8

제1항에 있어서,

상기 제1 접합 영역 및 상기 제2 접합 영역 각각의 측면 부분에서 금속 전극을 더 포함하는 것을 특징으로 하는 컬러 광센서.

청구항 9

제8항에 있어서,

상기 컬러 광센서는, 상기 금속 전극을 통해 인가되는 전압이 0보다 클 경우 상기 제1 접합 영역이 역방향 바이어스 되고, 상기 제2 접합 영역이 순방향 바이어스가 되며, 상기 금속 전극을 통해 인가되는 전압이 0보다 작을 경우 상기 제1 접합 영역이 순방향 바이어스 되고, 상기 제2 접합 영역이 역방향 바이어스가 되며, 상기 순방향 바이어스에서는 쇼트키 장벽 높이(Schottky Barrier Height, SBH)가 증가하고, 상기 역방향 바이어스에서는 쇼트키 장벽 높이가 감소하는 것을 특징으로 하는

컬러 광센서.

청구항 10

제1항에 있어서,

상기 어느 하나의 접합 영역은, 상기 제1 접합 영역이 순방향 바이어스 이고, 상기 제2 접합 영역이 역방향 바이어스 인 경우와 상기 제1 접합 영역이 역방향 바이어스 이고, 상기 제2 접합 영역이 순방향 바이어스 인 경우 각각에서 상기 제1 인터페이스(IS-1)에 기반하여 상기 입사하는 광의 파장에 따른 제1 광 전류를 생성하고,

상기 공백 영역은, 상기 제1 접합 영역이 순방향 바이어스 이고, 상기 제2 접합 영역이 역방향 바이어스 인 경우와 상기 제1 접합 영역이 역방향 바이어스 이고, 상기 제2 접합 영역이 순방향 바이어스 인 경우 각각에서 상기 제3 인터페이스(IS-3)에 기반하여 상기 입사하는 광의 파장에 따른 제2 광 전류를 생성하며,

상기 컬러 광센서는 상기 입사하는 광의 파장에 따라 상기 제1 광전류에 비하여 상기 제2 광전류가 감소되고, 상기 입사하는 광의 파장에 따라 상기 제1 광전류와 상기 제2 광전류 간의 차이가 존재함에 따라 상기 입사하는

광의 컬러를 검출하는 것을 특징으로 하는
컬러 광센서.

청구항 11

제1 접합(junction) 영역 및 제2 접합 영역을 포함하고, 상기 제1 접합 영역 및 상기 제2 접합 영역 사이에 공백(gap) 영역을 포함하며, 상기 제1 접합 영역 및 상기 제2 접합 영역 중 어느 하나의 접합 영역과 상기 공백 영역은 제1 인터페이스(IS-1), 제2 인터페이스(IS-2) 및 제3 인터페이스(IS-3)를 이루고, 광이 입사하는 경우에, 상기 제1 인터페이스(IS-1)에서의 광 전류 생성 값과 상기 제3 인터페이스에서의 광 전류 생성 값의 차이에 기반하여 상기 입사하는 광의 컬러를 검출하는 컬러 광센서의 제조 방법에 있어서,

포토리소그래피 공정용 마스크를 이용하여 표면 처리 산화물층에서 상기 제1 접합 영역 및 상기 제2 접합 영역에 해당하는 부분들을 에칭하는 단계;

상기 에칭된 부분들에 수소와 산소를 이용한 CVD(chemical vapor deposition) 기법의 패시베이션에 의해 삽입층을 형성하는 단계;

스퍼터링 공정을 이용하여 상기 표면 처리 산화물층 상에서 상기 공백 영역이 아니면서 상기 제1 접합 영역 및 상기 제2 접합 영역 각각의 측면 부분에 금속 전극을 형성하는 단계; 및

상기 표면 처리 산화물층, 상기 삽입층 및 상기 금속 전극 상에 그래핀을 전사하여 그래핀층을 형성하는 단계를 포함하는 것을 특징으로 하는

컬러 광센서의 제조 방법.

청구항 12

제11항에 있어서,

상기 제1 인터페이스(IS-1)는 상기 어느 하나의 접합 영역에 포함되는 삽입층과 디바이스층 간에 인터페이스이고,

상기 제2 인터페이스(IS-2)는 상기 어느 하나의 접합 영역 및 상기 공백 영역에 포함되는 BOX(buried oxide) 층과 상기 디바이스층 간에 인터페이스이며,

상기 제3 인터페이스(IS-3)는 상기 공백 영역에 포함되는 표면 처리 산화물층과 상기 디바이스층 간에 인터페이스인 것을 특징으로 하는

컬러 광센서의 제조 방법.

청구항 13

제12항에 있어서,

상기 디바이스층의 두께는, 0.5 μm 내지 3 μm 인 것을 특징으로 하는

컬러 광센서의 제조 방법.

청구항 14

제13항에 있어서,

상기 컬러 광센서는, 상기 디바이스층의 두께가 상기 0.5 μm 내지 3 μm 에 따라 상기 입사하는 광의 파장이 증가하면 광전류가 감소하여 상기 광전류의 광 생성 캐리어의 생성비에 기반하여 상기 입사하는 광의 파장에 따른 상기 입사하는 광의 컬러를 검출하는 것을 특징으로 하는

컬러 광센서의 제조 방법.

청구항 15

제11항에 있어서,

상기 제1 인터페이스(IS-1)는, 상기 어느 하나의 접합 영역에 포함되는 삽입층과 디바이스층에서 상기 삽입층이

상기 삽입층 상의 그래핀층과 상기 디바이스층 사이에 터널링 장벽에 작용하는 산화물 전압에 의한 다수 캐리어에 대한 쇼트키 장벽 높이(Schottky Barrier Height, SBH)의 광유도 변조(modulation)를 허용하는 것을 특징으로 하는

컬러 광센서의 제조 방법.

청구항 16

제11항에 있어서,

상기 컬러 광센서는, 금속 전극을 통해 인가되는 전압이 0보다 클 경우 상기 제1 접합 영역이 역방향 바이어스 되고, 상기 제2 접합 영역이 순방향 바이어스가 되며, 상기 금속 전극을 통해 인가되는 전압이 0보다 작을 경우 상기 제1 접합 영역이 순방향 바이어스 되고, 상기 제2 접합 영역이 역방향 바이어스가 되며, 상기 순방향 바이어스에서는 쇼트키 장벽 높이(Schottky Barrier Height, SBH)가 증가하고, 상기 역방향 바이어스에서는 쇼트키 장벽 높이가 감소하는 것을 특징으로 하는

컬러 광센서의 제조 방법.

청구항 17

제11항에 있어서,

상기 어느 하나의 접합 영역은, 상기 제1 접합 영역이 순방향 바이어스 이고, 상기 제2 접합 영역이 역방향 바이어스 인 경우와 상기 제1 접합 영역이 역방향 바이어스 이고, 상기 제2 접합 영역이 순방향 바이어스 인 경우 각각에서 상기 제1 인터페이스(IS-1)에 기반하여 상기 입사하는 광의 파장에 따른 제1 광 전류를 생성하고,

상기 공백 영역은, 상기 제1 접합 영역이 순방향 바이어스 이고, 상기 제2 접합 영역이 역방향 바이어스 인 경우와 상기 제1 접합 영역이 역방향 바이어스 이고, 상기 제2 접합 영역이 순방향 바이어스 인 경우 각각에서 상기 제3 인터페이스(IS-3)에 기반하여 상기 입사하는 광의 파장에 따른 제2 광 전류를 생성하며,

상기 컬러 광센서는 상기 입사하는 광의 파장에 따라 상기 제1 광전류에 비하여 상기 제2 광전류가 감소되고, 상기 입사하는 광의 파장에 따라 상기 제1 광전류와 상기 제2 광전류 간의 차이가 존재함에 따라 상기 입사하는 광의 컬러를 검출하는 것을 특징으로 하는

컬러 광센서의 제조 방법.

발명의 설명

기술 분야

[0001] 본 발명은 무필터 양측 다수 캐리어 유형(majority carrier type) 컬러 광센서 및 그 제조 방법에 관한 것으로, 보다 구체적으로, 삽입층(insertion layer) 및 투명도가 높고 전하 캐리어 이동도가 높은 그래핀을 이용한 BTB(back-to-back) 쇼트키 다이오드를 기반으로 하는 무필터 양측 다수 캐리어 유형 컬러 광센서를 구현하는 기술에 관한 것이다.

배경 기술

- [0002] 광센서(photodetector)는 기술 의존적인 생활 스타일(lifestyle)을 향상시키기 위해 필수적이다.
- [0003] 따라서, 신호 증폭 기능이 내장된 효율적인 광센서에 대한 요구가 지속적으로 증가하고 있다.
- [0004] 이 내장 신호 증폭은 종종 불가피한 초과 노이즈와 함께 높은 바이어스 전압에서 작동하는 애벌런칭(avalanching) 프로세스(process)에 의해 달성될 수 있다.
- [0005] 또한, 상대적으로 낮은 과잉 잡음으로 낮은 바이어스 전압에서도 신호가 크게 증폭될 수 있다.
- [0006] 광 신호를 전기 신호로 변환하는 광센서는 광 및 무선 통신, 원격 환경 모니터링, 이미징, 보안, 데이터 과학, 자율 주행 차량, 가상 및 증강 현실, 인공 지능, 디지털 트윈, 양자 계측, 양자 정보 기술 등에 활용될 수 있다.
- [0007] 따라서, 높은 반응성, 높은 검출도, 빠른 응답 시간 및 파장 선택성을 갖는 광센서가 크게 추구되어 왔다.

- [0008] 광센서 중 수직적층 구조를 기반으로 하는 p-i-n 광센서(photodetector, PD), APD(Avalanche PhotoDetector), 측면 구조를 기반으로 하는 MSM(Metal-Semiconductor-Metal) PD가 존재한다.
- [0009] APD는 신호 증폭을 위한 애벌랜치 프로세스를 일으킬 만큼 높은 항복 전압에서 작동함으로써 달성되는 내부 고 이득으로 인해 선호되는 선택이 되었다.
- [0010] 그러나 APD는 고전압 동작에 의한 고유 잡음 증폭에 따른 과잉 잡음이 많다는 문제점이 존재한다.
- [0011] 측면 구조의 MSM PD는 2개의 접합 영역과 두 접합 사이의 1개의 갭 영역으로 구성될 수 있다.
- [0012] 일반적으로, MSM PD에서 빛은 금속 전극 사이의 반도체에 직접 조명되고 흡수되고, 금속과 반도체 사이의 접합은 옴 또는 쇼트키 유형일 수 있다.
- [0013] 옴(Ohmic)형의 검출 효율은 광발생 전자와 정공의 수명비에 크게 좌우되지만 검출 속도는 광발생 캐리어의 긴 수명과 금속 전극 사이의 거리에 반비례한다.
- [0014] 또한, Ohmic형의 암전류는 일반적으로 크기가 커서 문제가 되고, Ohmic 유형과 달리 접합이 쇼트키 유형일 때 MSM 광센서는 BTB SD(back-to-back Schottky Diode)의 특성으로 인해 상대적으로 낮은 암전류를 보일 수 있다.
- [0015] 동일 평면 구조 덕분에 우수한 통합 기능을 나타내지만 일반적으로 전극의 불투명도로 인해 광 신호 손실 및 내부 이득 없음으로 인해 응답성이 낮다.
- [0016] 금속 전극이 투명할 때, 간극 영역뿐 만 아니라 투명 금속 전극으로 덮인 접합 영역에 직접 조명에 의해 광 검출이 수행될 수 있다.
- [0017] MSM PD의 이러한 구성은 이 연구에서 볼 수 있는 것처럼 빛의 색상을 식별하기 위한 추가 정보를 제공할 수 있다.
- [0018] 구조와 유형에 관계없이 이러한 모든 광센서는 기본적으로 작동을 위해 전극이 필요하다.
- [0019] 다양한 금속 재료 중에서 그래핀은 높은 광학적 투명도와 전하 캐리어 이동도 때문에 전극으로서 광검출 특성에 주목받고 있다.
- [0020] 따라서, 그래핀 반도체 SD 기반 광센서는 그래핀의 높은 투과율과 높은 이동도를 이용하여 투명 전극으로 채용함으로써 입사광의 대부분을 광흡수 반도체에 전달함으로써 자연스럽게 추구되어 왔다. 이것은 금속 전극을 통해 접합부에 직접 조명을 허용한다.
- [0021] 기존 수동 금속 전극과 달리 그래핀은 고유한 상태 밀도로 인해 전기적, 광학적 및/또는 화학적 방법을 통해 조정 가능한 페르미 준위인 또 다른 고유한 활성 전자 특성을 가지고 있다.
- [0022] 특히, 다수 캐리어 기반 그래핀-반도체 이종접합 쇼트키 광센서는 쇼트키 장벽 높이(Schottky barrier height, SBH)를 변조하기 위해 이 페르미 레벨 조정성을 효율적으로 활용하도록 설계되었다.
- [0023] 종래 기술에서 연구된 바에 따르면, 그래핀과 반도체 사이의 터널링 장벽으로 고유 산화물을 갖는 다수 캐리어 유형의 광센서는 예상보다 낮은 광 반응성을 나타내었다.
- [0024] 또한, 일반적으로 실리콘 표면은 주변 대기와 실리콘 덩글링 본드의 반응에 의해 형성되지만 종종 결함 상태가 있는 자연 산화막에 덮여있다.
- [0025] 이러한 결함 상태와 결함이 있는 산화물은 광 발생 캐리어의 높은 재결합 속도를 유도하여 광 발생 캐리어 손실과 비효율적인 장벽 높이 변조를 유발하여 신호 증폭을 감소시킬 수 있다.
- [0026] 즉, 종래 기술은 자연 산화막을 이용하는데, 자연 산화막은 결함 상태(defect state)가 다수 존재하고, 두께가 상대적으로 두껍기 때문에 터널링이 잘 일어나지 않으며, 광 전류(photo current)가 발생할 때 이를 잘 이용하지 못하는 문제점이 존재한다.
- [0027] 터널링을 개선하기 위해서, 자연 산화막을 에칭하는 경우에 터널링이 너무 잘 발생하기 때문에 암전류가 많이 발생하는 문제점이 존재한다.

선행기술문헌

특허문헌

- [0028] (특허문헌 0001) 한국등록특허 제10-2019599호, "그래핀 기반의 포토 다이오드 및 그 제조 방법"
- (특허문헌 0002) 한국공개특허 제10-2020-0005418호, "반도체 장치"
- (특허문헌 0003) 한국공개특허 제10-2018-0054359호, "광센서"
- (특허문헌 0004) 한국등록특허 제10-1806024호, "그래핀을 이용하여 포토 트랜지스터를 제작하는 방법 및 포토 트랜지스터"

발명의 내용

해결하려는 과제

- [0029] 본 발명은 삽입층(insertion layer) 및 투명도가 높고 전하 캐리어 이동도가 높은 그래핀을 이용한 BTB(back-to-back) 쇼트키 다이오드를 기반으로 하는 무필터 양측 다수 캐리어 유형 컬러 광센서를 제공하는 것을 목적으로 한다.
- [0030] 본 발명은 삽입층(insertion layer)의 페르미 레벨 조정성을 효율적으로 활용하여 쇼트키 장벽 높이(Schottky barrier height, SBH) 변조 비율을 높여 입사광에 대한 응답성을 향상된 무필터 양측 다수 캐리어 유형 컬러 광센서를 제공하는 것을 목적으로 한다.
- [0031] 본 발명은 수소와 산소를 사용하여 실리콘 표면의 패시베이션(passivation)하고, 이 패시베이션이 그래핀과 얇은 실리콘으로 구성된 연속 쇼트키 접합(Schottky junction)이 사용된 무필터 양측 다수 캐리어 유형 컬러 광센서에서 신호 증폭과 양방향 동작에서 시너지 효과를 제공하는 것을 목적으로 한다.
- [0032] 본 발명은 컬러 광센서에서 쇼트키 배리어로 동작하는 삽입층을 접합 영역에 원자 크기(atomic scale)의 두께로 형성함에 따라 누설 전류(leakage current)의 발생량을 감소시켜 온 오프율(on/off ratio)을 향상시키고, 결함 상태(defect state)를 감소시키는 것을 목적으로 한다.
- [0033] 본 발명은 접합 영역과 공백 영역 각각에서 생성되는 광전류를 비교하여 컬러필터 없이도 입사광의 컬러를 구분하는 컬러 광센서를 제공하는 것을 목적으로 한다.
- [0034] 본 발명은 컬러 광센서에서 얇은 두께로 디바이스층을 구성함에 따라 계면특성에 기반하여 결함 상태(defect state)의 영향을 감소시키고, 이에 따라 컬러 필터 없이 입사광의 컬러를 감지하며, 신호를 증폭시키는 것을 목적으로 한다.
- [0035] 본 발명은 삽입층(insertion layer)에 의한 표면 패시베이션(passivation)과 접합 영역과 공백 영역에 의한 서로 다른 인터페이스와 얇은 두께의 디바이스층에 기반하여 높은 반응성과 식별 가능한 파장 의존성을 갖는 무필터 양측 다수 캐리어 유형 컬러 광센서를 제공하는 것을 목적으로 한다.

과제의 해결 수단

- [0036] 본 발명의 일실시예에 따른 컬러 광센서는 제1 접합(junction) 영역 및 제2 접합 영역을 포함하고, 상기 제1 접합 영역 및 상기 제2 접합 영역 사이에 공백(gap) 영역을 포함하며, 상기 제1 접합 영역 및 상기 제2 접합 영역 중 어느 하나의 접합 영역과 상기 공백 영역은 제1 인터페이스(IS-1), 제2 인터페이스(IS-2) 및 제3 인터페이스(IS-3)를 이루고, 광이 입사하는 경우에, 상기 제1 인터페이스(IS-1)에서의 광 전류 생성 값과 상기 제3 인터페이스(IS-3)에서의 광 전류 생성 값의 차이에 기반하여 상기 입사하는 광의 컬러를 검출할 수 있다.
- [0037] 상기 제1 접합 영역 및 상기 제2 접합 영역 중 어느 하나의 접합 영역은, BOX(buried oxide) 층, 상기 BOX(buried oxide) 층 상에 위치하는 디바이스층, 상기 디바이스층 상에 위치하는 삽입층 및 상기 삽입층 상에 위치하는 그래핀층을 포함할 수 있다.
- [0038] 상기 공백 영역은, BOX(buried oxide) 층, 상기 BOX(buried oxide) 층 상에 위치하는 디바이스층, 상기 디바이스층 상에 위치하는 표면 처리 산화물층 및 상기 표면 처리 산화물층의 일부분에 위치하는 그래핀층을 포함할 수 있다.
- [0039] 상기 제1 인터페이스(IS-1)는 상기 어느 하나의 접합 영역에 포함되는 삽입층과 디바이스층 간에 인터페이스이고, 상기 제2 인터페이스(IS-2)는 상기 어느 하나의 접합 영역 및 상기 공백 영역에 포함되는 BOX(buried

oxide) 층과 상기 디바이스층 간에 인터페이스이며, 상기 제3 인터페이스(IS-3)는 상기 공백 영역에 포함되는 표면 처리 산화물층과 상기 디바이스층 간에 인터페이스일 수 있다.

[0040]

상기 디바이스층의 두께는, 0.5 μm 내지 3 μm 일 수 있다.

[0041]

상기 컬러 광센서는, 상기 디바이스층의 두께가 상기 0.5 μm 내지 3 μm 에 따라 상기 입사하는 광의 파장이 증가하면 광전류가 감소하여 상기 광전류의 광 생성 캐리어의 생성비에 기반하여 상기 입사하는 광의 파장에 따른 상기 입사하는 광의 컬러를 검출할 수 있다.

[0042]

상기 제1 인터페이스(IS-1)는, 상기 어느 하나의 접합 영역에 포함되는 삽입층과 디바이스층에서 상기 삽입층이 상기 삽입층 상의 그래핀층과 상기 디바이스층 사이에 터널링 장벽에 작용하는 산화물 전압에 의한 다수 캐리어에 대한 쇼트키 장벽 높이(Schottky Barrier Height, SBH)의 광유도 변조(modulation)를 허용할 수 있다.

[0043]

상기 제1 접합 영역 및 상기 제2 접합 영역 각각의 측면 부분에서 금속 전극을 더 포함할 수 있다.

[0044]

상기 컬러 광센서는, 상기 금속 전극을 통해 인가되는 전압이 0보다 클 경우 상기 제1 접합 영역이 역방향 바이어스 되고, 상기 제2 접합 영역이 순방향 바이어스가 되며, 상기 금속 전극을 통해 인가되는 전압이 0보다 작을 경우 상기 제1 접합 영역이 순방향 바이어스 되고, 상기 제2 접합 영역이 역방향 바이어스가 되며, 상기 순방향 바이어스에서는 쇼트키 장벽 높이(Schottky Barrier Height, SBH)가 증가하고, 상기 역방향 바이어스에서는 쇼트키 장벽 높이가 감소할 수 있다.

[0045]

상기 어느 하나의 접합 영역은, 상기 제1 접합 영역이 순방향 바이어스 이고, 상기 제2 접합 영역이 역방향 바이어스 인 경우와 상기 제1 접합 영역이 역방향 바이어스 이고, 상기 제2 접합 영역이 순방향 바이어스 인 경우 각각에서 상기 제1 인터페이스(IS-1)에 기반하여 상기 입사하는 광의 파장에 따른 제1 광 전류를 생성하고, 상기 공백 영역은, 상기 제1 접합 영역이 순방향 바이어스 이고, 상기 제2 접합 영역이 역방향 바이어스 인 경우와 상기 제1 접합 영역이 역방향 바이어스 이고, 상기 제2 접합 영역이 순방향 바이어스 인 경우 각각에서 상기 제3 인터페이스(IS-3)에 기반하여 상기 입사하는 광의 파장에 따른 제2 광 전류를 생성하며, 상기 컬러 광센서는 상기 입사하는 광의 파장에 따라 상기 제1 광전류에 비하여 상기 제2 광전류가 감소되고, 상기 입사하는 광의 파장에 따라 상기 제1 광전류와 상기 제2 광전류 간의 차이가 존재함에 따라 상기 입사하는 광의 컬러를 검출할 수 있다.

[0046]

본 발명의 일실시예에 따르면 제1 접합(junction) 영역 및 제2 접합 영역을 포함하고, 상기 제1 접합 영역 및 상기 제2 접합 영역 사이에 공백(gap) 영역을 포함하며, 상기 제1 접합 영역 및 상기 제2 접합 영역 중 어느 하나의 접합 영역과 상기 공백 영역은 제1 인터페이스(IS-1), 제2 인터페이스(IS-2) 및 제3 인터페이스(IS-3)를 이루고, 광이 입사하는 경우에, 상기 제1 인터페이스(IS-1)에서의 광 전류 생성 값과 상기 제3 인터페이스에서의 광 전류 생성 값의 차이에 기반하여 상기 입사하는 광의 컬러를 검출하는 컬러 광센서의 제조 방법은 포토리소그래피 공정용 마스크를 이용하여 표면 처리 산화물층에서 상기 제1 접합 영역 및 상기 제2 접합 영역에 해당하는 부분들을 에칭하는 단계, 상기 에칭된 부분들에 수소와 산소를 이용한 CVD(chemical vapor deposition) 기법의 패시베이션에 의해 삽입층을 형성하는 단계, 스퍼터링 공정을 이용하여 상기 표면 처리 산화물층 상에서 상기 공백 영역이 아니면서 상기 제1 접합 영역 및 상기 제2 접합 영역 각각의 측면 부분에 금속 전극을 형성하는 단계 및 상기 표면 처리 산화물층, 상기 삽입층 및 상기 금속 전극 상에 그래핀을 전사하여 그래핀층을 형성하는 단계를 포함할 수 있다.

[0047]

상기 제1 인터페이스(IS-1)는 상기 어느 하나의 접합 영역에 포함되는 삽입층과 디바이스층 간에 인터페이스이고, 상기 제2 인터페이스(IS-2)는 상기 어느 하나의 접합 영역 및 상기 공백 영역에 포함되는 BOX(buried oxide) 층과 상기 디바이스층 간에 인터페이스이며, 상기 제3 인터페이스(IS-3)는 상기 공백 영역에 포함되는 표면 처리 산화물층과 상기 디바이스층 간에 인터페이스일 수 있다.

[0048]

상기 디바이스층의 두께는, 0.5 μm 내지 3 μm 일 수 있다.

[0049]

상기 컬러 광센서는, 상기 디바이스층의 두께가 상기 0.5 μm 내지 3 μm 에 따라 상기 입사하는 광의 파장이 증가하면 광전류가 감소하여 상기 광전류의 광 생성 캐리어의 생성비에 기반하여 상기 입사하는 광의 파장에 따른 상기 입사하는 광의 컬러를 검출할 수 있다.

[0050]

상기 제1 인터페이스(IS-1)는, 상기 어느 하나의 접합 영역에 포함되는 삽입층과 디바이스층에서 상기 삽입층이 상기 삽입층 상의 그래핀층과 상기 디바이스층 사이에 터널링 장벽에 작용하는 산화물 전압에 의한 다수 캐리어에 대한 쇼트키 장벽 높이(Schottky Barrier Height, SBH)의 광유도 변조(modulation)를 허용할 수 있다.

- [0051] 상기 제1 접합 영역 및 상기 제2 접합 영역 각각의 측면 부분에서 금속 전극을 더 포함할 수 있다.
- [0052] 상기 컬러 광센서는, 상기 금속 전극을 통해 인가되는 전압이 0보다 클 경우 상기 제1 접합 영역이 역방향 바이어스 되고, 상기 제2 접합 영역이 순방향 바이어스가 되며, 상기 금속 전극을 통해 인가되는 전압이 0보다 작을 경우 상기 제1 접합 영역이 순방향 바이어스 되고, 상기 제2 접합 영역이 역방향 바이어스가 되며, 상기 순방향 바이어스에서는 쇼트키 장벽 높이(Schottky Barrier Height, SBH)가 증가하고, 상기 역방향 바이어스에서는 쇼트키 장벽 높이가 감소할 수 있다.
- [0053] 상기 어느 하나의 접합 영역은, 상기 제1 접합 영역이 순방향 바이어스 이고, 상기 제2 접합 영역이 역방향 바이어스 인 경우와 상기 제1 접합 영역이 역방향 바이어스 이고, 상기 제2 접합 영역이 순방향 바이어스 인 경우 각각에서 상기 제1 인터페이스(IS-1)에 기반하여 상기 입사하는 광의 파장에 따른 제1 광 전류를 생성하고, 상기 공백 영역은, 상기 제1 접합 영역이 순방향 바이어스 이고, 상기 제2 접합 영역이 역방향 바이어스 인 경우와 상기 제1 접합 영역이 역방향 바이어스 이고, 상기 제2 접합 영역이 순방향 바이어스 인 경우 각각에서 상기 제3 인터페이스(IS-3)에 기반하여 상기 입사하는 광의 파장에 따른 제2 광 전류를 생성하며, 상기 컬러 광센서는 상기 입사하는 광의 파장에 따라 상기 제1 광전류에 비하여 상기 제2 광전류가 감소되고, 상기 입사하는 광의 파장에 따라 상기 제1 광전류와 상기 제2 광전류 간의 차이가 존재함에 따라 상기 입사하는 광의 컬러를 검출할 수 있다.

발명의 효과

- [0054] 본 발명은 삽입층(insertion layer) 및 투명도가 높고 전하 캐리어 이동도가 높은 그래핀을 이용한 BTB(back-to-back) 쇼트키 다이오드를 기반으로 하는 무필터 양측 다수 캐리어 유형 컬러 광센서를 제공할 수 있다.
- [0055] 본 발명은 삽입층(insertion layer)의 페르미 레벨 조정성을 효율적으로 활용하여 쇼트키 장벽 높이(Schottky barrier height, SBH) 변조 비율을 높여 입사광에 대한 응답성을 향상된 무필터 양측 다수 캐리어 유형 컬러 광센서를 제공할 수 있다.
- [0056] 본 발명은 수소와 산소를 사용하여 실리콘 표면의 패시베이션(passivation)하고, 이 패시베이션이 그래핀과 얇은 실리콘으로 구성된 연속 쇼트키 접합(Schottky junction)이 사용된 무필터 양측 다수 캐리어 유형 컬러 광센서에서 신호 증폭과 양방향 동작에서 시너지 효과를 제공할 수 있다.
- [0057] 본 발명은 컬러 광센서에서 쇼트키 배리어로 동작하는 삽입층을 접합 영역에 원자 크기(atomic scale)의 두께로 형성함에 따라 누설 전류(leakage current)의 발생량을 감소시켜 온 오프율(on/off ratio)을 향상시키고, 결함 상태(defect state)를 감소시킬 수 있다.
- [0058] 본 발명은 접합 영역과 공백 영역 각각에서 생성되는 광전류를 비교하여 컬러필터 없이도 입사광의 컬러를 구분하는 컬러 광센서를 제공할 수 있다.
- [0059] 본 발명은 컬러 광센서에서 얇은 두께로 디바이스층을 구성함에 따라 계면특성에 기반하여 결함 상태(defect state)의 영향을 감소시키고, 이에 따라 컬러 필터 없이 입사광의 컬러를 감지하며, 신호를 증폭시킬 수 있다.
- [0060] 본 발명은 삽입층(insertion layer)에 의한 표면 패시베이션(passivation)과 접합 영역과 공백 영역에 의한 서로 다른 인터페이스와 얇은 두께의 디바이스층에 기반하여 높은 반응성과 식별 가능한 파장 의존성을 갖는 무필터 양측 다수 캐리어 유형 컬러 광센서를 제공할 수 있다.

도면의 간단한 설명

- [0061] 도 1은 본 발명의 일실시예에 따른 무필터 양측 다수 캐리어 유형 컬러 광센서를 설명하는 도면이다.
- 도 2는 본 발명의 일실시예에 따른 무필터 양측 다수 캐리어 유형 컬러 광센서의 단면을 설명하는 도면이다.
- 도 3은 본 발명의 일실시예에 따른 무필터 양측 다수 캐리어 유형 컬러 광센서에서 측정되는 암전류(dark current) 특성을 설명하는 도면이다.
- 도 4a 내지 도 4d는 본 발명의 일실시예에 따른 무필터 양측 다수 캐리어 유형 컬러 광센서의 에너지 밴드 구조 및 암전류(dark current)로부터 계산한 쇼트키 배리어 높이의 변화를 설명하는 도면이다.
- 도 5a 내지 도 5d는 본 발명의 일실시예에 따른 무필터 양측 다수 캐리어 유형 컬러 광센서에서 단일 접합 영역에 광이 비추는 모델을 설명하는 도면이다.

도 6a 및 도 6b는 본 발명의 일실시예에 따른 무필터 양측 다수 캐리어 유형 컬러 광센서에서 RGB 파장에서 생성되는 광전류 및 응답도를 설명하는 도면이다.

도 7a 내지 도 7c는 본 발명의 일실시예에 따른 무필터 양측 다수 캐리어 유형 컬러 광센서에서 광유도 및 전압 의존적인 쇼트키 장벽 높이의 변화를 설명하는 도면이다.

도 8a 및 도 8b는 본 발명의 일실시예에 따른 무필터 양측 다수 캐리어 유형 컬러 광센서에 포함되는 삽입층에 의한 결함 상태(defect state)에 대한 쇼트키 장벽 높이 변화를 설명하는 도면이다.

도 9a 내지 도 9c는 본 발명의 일실시예에 따른 무필터 양측 다수 캐리어 유형 컬러 광센서에 포함되는 디바이스층의 두께 및 삽입층과 관련된 광응답 특성을 설명하는 도면이다.

도 10a 및 도 10b는 본 발명의 일실시예에 따른 무필터 양측 다수 캐리어 유형 컬러 광센서에서 공백 영역에 광이 비추는 모델을 설명하는 도면이다.

도 11은 본 발명의 일실시예에 따른 무필터 양측 다수 캐리어 유형 컬러 광센서에 포함되는 공백 영역과 관련된 광응답 특성을 설명하는 도면이다.

도 12a 내지 도 12c는 본 발명의 일실시예에 따른 무필터 양측 다수 캐리어 유형 컬러 광센서에 대한 흡수 계수, 흡수 깊이 및 광전류 비율을 설명하는 도면이다.

도 13a 및 도 13b는 본 발명의 일실시예에 따른 무필터 양측 다수 캐리어 유형 컬러 광센서의 제조 방법을 설명하는 도면이다.

도 14는 본 발명의 일실시예에 따른 무필터 양측 다수 캐리어 유형 컬러 광센서의 회로도를 설명하는 도면이다.

도 15는 본 발명의 일실시예에 따른 무필터 양측 다수 캐리어 유형 컬러 광센서의 측정 실험 환경을 설명하는 도면이다.

도 16은 본 발명의 일실시예에 따른 무필터 양측 다수 캐리어 유형 컬러 광센서의 정규화된 시간에 기반한 광응답 특성을 설명하는 도면이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

- [0062] 이하, 본 문서의 다양한 실시 예들이 첨부된 도면을 참조하여 기재된다.
- [0063] 실시 예 및 이에 사용된 용어들은 본 문서에 기재된 기술을 특정한 실시 형태에 대해 한정하려는 것이 아니며, 해당 실시 예의 다양한 변경, 균등물, 및/또는 대체물을 포함하는 것으로 이해되어야 한다.
- [0064] 하기에서 다양한 실시 예들을 설명에 있어 관련된 공지 기능 또는 구성에 대한 구체적인 설명이 발명의 요지를 불필요하게 흐릴 수 있다고 판단되는 경우에는 그 상세한 설명을 생략할 것이다.
- [0065] 그리고 후술되는 용어들은 다양한 실시 예들에서의 기능을 고려하여 정의된 용어들로서 이는 사용자, 운용자의 의도 또는 관례 등에 따라 달라질 수 있다. 그러므로 그 정의는 본 명세서 전반에 걸친 내용을 토대로 내려져야 할 것이다.
- [0066] 도면의 설명과 관련하여, 유사한 구성요소에 대해서는 유사한 참조 부호가 사용될 수 있다.
- [0067] 단수의 표현은 문맥상 명백하게 다르게 뜻하지 않는 한, 복수의 표현을 포함할 수 있다.
- [0068] 본 문서에서, "A 또는 B" 또는 "A 및/또는 B 중 적어도 하나" 등의 표현은 함께 나열된 항목들의 모든 가능한 조합을 포함할 수 있다.
- [0069] "제1," "제2," "첫째," 또는 "둘째," 등의 표현들은 해당 구성요소들을, 순서 또는 중요도에 상관없이 수식할 수 있고, 한 구성요소를 다른 구성요소와 구분하기 위해 사용될 뿐 해당 구성요소들을 한정하지 않는다.
- [0070] 어떤(예: 제1) 구성요소가 다른(예: 제2) 구성요소에 "(기능적으로 또는 통신적으로) 연결되어" 있다거나 "접속되어" 있다고 언급된 때에는, 상기 어떤 구성요소가 상기 다른 구성요소에 직접적으로 연결되거나, 다른 구성요소(예: 제3 구성요소)를 통하여 연결될 수 있다.
- [0071] 본 명세서에서, "~하도록 구성된(또는 설정된)(configured to)"은 상황에 따라, 예를 들면, 하드웨어적 또는 소프트웨어적으로 "~에 적합한," "~하는 능력을 가지는," "~하도록 변경된," "~하도록 만들어진," "~를 할 수 있

는, " 또는 "~하도록 설계된"과 상호 호환적으로(interchangeably) 사용될 수 있다.

- [0072] 어떤 상황에서는, "~하도록 구성된 장치"라는 표현은, 그 장치가 다른 장치 또는 부품들과 함께 "~할 수 있는" 것을 의미할 수 있다.
- [0073] 예를 들면, 문구 "A, B, 및 C를 수행하도록 구성된(또는 설정된) 프로세서"는 해당 동작을 수행하기 위한 전용 프로세서(예: 임베디드 프로세서), 또는 메모리 장치에 저장된 하나 이상의 소프트웨어 프로그램들을 실행함으로써, 해당 동작들을 수행할 수 있는 범용 프로세서(예: CPU 또는 application processor)를 의미할 수 있다.
- [0074] 또한, '또는'이라는 용어는 배타적 논리합 'exclusive or' 이기보다는 포함적인 논리합 'inclusive or' 를 의미한다.
- [0075] 즉, 달리 언급되지 않는 한 또는 문맥으로부터 명확하지 않는 한, 'x가 a 또는 b를 이용한다'라는 표현은 포함적인 자연 순열들(natural inclusive permutations) 중 어느 하나를 의미한다.
- [0076] 이하 사용되는 '...부', '...기' 등의 용어는 적어도 하나의 기능이나 동작을 처리하는 단위를 의미하며, 이는 하드웨어나 소프트웨어, 또는, 하드웨어 및 소프트웨어의 결합으로 구현될 수 있다.
- [0078] 도 1은 본 발명의 일실시예에 따른 무필터 양측 다수 캐리어 유형 컬러 광센서를 설명하는 도면이다.
- [0079] 도 1은 본 발명의 일실시예에 따른 무필터 양측 다수 캐리어 유형 컬러 광센서의 구조를 예시한다.
- [0080] 도 1을 참고하면, 본 발명의 일실시예에 따른 무필터 양측 다수 캐리어 유형 컬러 광센서(100)는 제1 접합(junction) 영역(110) 및 제2 접합 영역(120)을 포함하고, 제1 접합 영역(110) 및 제2 접합 영역(120) 사이에 공백(gap) 영역(130)을 포함한다.
- [0081] 예를 들어, 무필터 양측 다수 캐리어 유형 컬러 광센서(100)는 컬러 광센서로 지칭될 수 있다.
- [0082] 일례로, 제1 접합 영역(110) 및 제2 접합 영역(120) 중 어느 하나의 접합 영역은, BOX(buried oxide) 층(101), BOX(buried oxide) 층(101) 상에 위치하는 디바이스층(102), 디바이스층(102) 상에 위치하는 삽입층(104) 및 삽입층(104) 상에 위치하는 그래핀층(106)을 포함한다.
- [0083] 본 발명의 일실시예에 따르면, 공백 영역(130)은 BOX(buried oxide) 층(101), BOX(buried oxide) 층(101) 상에 위치하는 디바이스층(102), 디바이스층(102) 상에 표면 처리 산화물층(103) 및 표면 처리 산화물층의 일부분에 위치하는 그래핀층(106)을 포함한다.
- [0084] 일례로, 본 발명의 일실시예에 따른 무필터 양측 다수 캐리어 유형 컬러 광센서(100)는 제1 접합 영역(110) 및 제2 접합 영역(120) 각각의 측면 부분에서 금속 전극(105)을 더 포함할 수 있다.
- [0085] 본 발명의 일실시예에 따른 무필터 양측 다수 캐리어 유형 컬러 광센서(100)는 광이 입사하는 경우에, 제1 인터페이스(IS-1)에서의 광 전류 생성 값과 제3 인터페이스(IS-3)에서의 광 전류 생성 값의 차이에 기반하여 입사하는 광의 컬러를 검출할 수 있다.
- [0086] 일례로, 제1 접합 영역(110) 및 제2 접합 영역(120) 중 어느 하나의 접합 영역은, 제1 접합 영역(110)이 순방향 바이어스 이고, 제2 접합 영역(120)이 역방향 바이어스 인 경우와 제1 접합 영역(110)이 역방향 바이어스 이고, 제2 접합 영역(120)이 순방향 바이어스 인 경우 각각에서 제1 인터페이스(IS-1)에 기반하여 입사하는 광의 파장에 따른 제1 광 전류를 생성할 수 있다.
- [0087] 또한, 공백 영역(130)은 제1 접합 영역(110)이 순방향 바이어스 이고, 제2 접합 영역(120)이 역방향 바이어스 인 경우와 제1 접합 영역(110)이 역방향 바이어스 이고, 제2 접합 영역(120)이 순방향 바이어스 인 경우 각각에서 제3 인터페이스(IS-3)에 기반하여 입사하는 광의 파장에 따른 제2 광 전류를 생성할 수 있다.
- [0088] 본 발명의 일실시예에 따른 무필터 양측 다수 캐리어 유형 컬러 광센서(100)는 입사하는 광의 파장에 따라 제1 광전류에 비하여 제2 광전류가 감소되고, 입사하는 광의 파장에 따라 제1 광전류와 제2 광전류 간의 차이가 준 재함에 따라 입사하는 광의 컬러를 검출할 수 있다.
- [0089] 따라서, 본 발명은 수소와 산소를 사용하여 실리콘 표면의 패시베이션(passivation)하고, 이 패시베이션이 그래핀과 얇은 실리콘으로 구성된 연속 쇼트키 접합(Schottky junction)이 사용된 무필터 양측 다수 캐리어 유형 컬러 광센서에서 신호 증폭과 양방향 동작에서 시너지 효과를 제공할 수 있다.

- [0090] 또한, 본 발명은 컬러 광센서에서 쇼트키 배리어로 동작하는 삽입층을 접합 영역에 원자 크기(atomic scale)의 두께로 형성함에 따라 누설 전류(leakage current)의 발생량을 감소시켜 온 오프율(on/off ratio)을 향상시키고, 결함 상태(defect state)를 감소시킬 수 있다.
- [0092] 도 2는 본 발명의 일실시예에 따른 무필터 양측 다수 캐리어 유형 컬러 광센서의 단면을 설명하는 도면이다.
- [0093] 도 2는 본 발명의 일실시예에 따라 도 1에서 설명된 무필터 양측 다수 캐리어 유형 컬러 광센서의 단면을 예시한다.
- [0094] 도 2를 참고하면, 본 발명의 일실시예에 따른 무필터 양측 다수 캐리어 유형 컬러 광센서(200)는 제1 인터페이스(210), 제2 인터페이스(220) 및 제3 인터페이스(230)를 포함한다.
- [0095] 제1 인터페이스(210)는 제1 접합 영역 및 제2 접합 영역 중 어느 하나의 접합 영역에 포함되는 삽입층과 디바이스층 간에 인터페이스될 수 있다.
- [0096] 제2 인터페이스(220)는 제1 접합 영역 및 제2 접합 영역 중 어느 하나의 접합 영역 및 공백 영역에 포함되는 BOX(buried oxide) 층과 디바이스층 간에 인터페이스될 수 있다.
- [0097] 제3 인터페이스(230)는 공백 영역에 포함되는 표면 처리 산화물층과 디바이스층 간에 인터페이스될 수 있다.
- [0098] 본 발명의 일실시예에 따른 디바이스층을 형성하는 실리콘의 두께는 $0.5\ \mu\text{m}$ 내지 $3\ \mu\text{m}$ 일 수 있다.
- [0099] 도 1에서 설명된 바와 같이 접합 영역에서 실리콘의 표면 패시베이션이 수행되어 삽입층이 추가된다.
- [0100] 공백 영역의 경우 전도 채널 실리콘은 스퍼터 증착 산화물로 덮여 있고, 결과적으로 고유한 인터페이스인 제3 인터페이스(230)가 생성될 수 있다.
- [0101] 본 발명의 일실시예에 따른 무필터 양측 다수 캐리어 유형 컬러 광센서(200)는 수소를 사용하여 나중에 그래핀과 접합부를 형성하는 실리콘 표면을 의도적으로 패시베이션한다.
- [0102] 패시베이션은 광 발생 캐리어 손실과 SBH의 변조 효율을 방해하는 중요한 역할을 하는 계면 결함 상태(defect state)를 최소화하기 위해 수행될 수 있고, 그 후, 추가 패시베이션이 산소로 수행될 수 있다.
- [0103] 실리콘 표면의 패시베이션 후 원하는 절연 터널링 장벽이 성장될 수 있다.
- [0104] 제1 접합 영역 및 제2 접합 영역에서 계면 결함 상태와 효율적인 SBH 변조를 줄일 수 있다.
- [0105] 한편, 공백 영역은 채널에 스퍼터 증착 처리된 산화물층의 산화물 전하 상태 및/또는 채널 사이에 트랩된 전하 상태에 의해 생성된 필드에 의해 패시베이션될 수 있다.
- [0106] 따라서, 본 발명은 삽입층(insertion layer) 및 투명도가 높고 전하 캐리어 이동도가 높은 그래핀을 이용한 BTB(back-to-back) 쇼트키 다이오드를 기반으로 하는 무필터 양측 다수 캐리어 유형 컬러 광센서를 제공할 수 있다.
- [0108] 도 3은 본 발명의 일실시예에 따른 무필터 양측 다수 캐리어 유형 컬러 광센서에서 측정되는 암전류(dark current) 특성을 설명하는 도면이다.
- [0109] 도 3은 도 1에서 설명된 구조의 암 상태에서 얻어지는 전류-전압 특성을 예시한다.
- [0110] 도 3을 참고하면, 그래프(300)는 제1 접합 영역(Junction L)이 순방향 바이어스 이고, 제2 접합 영역(Junction R)이 역방향 바이어스인 영역(301)과 제1 접합 영역(Junction L)이 역방향 바이어스 이고, 제2 접합 영역(Junction R)이 순방향 바이어스인 영역(302)을 예시한다.
- [0111] 다시 말해, 도 3에 표시된 암전류-전압(I-V) 특성에는 표시된 대로 두 개의 편향점이 있고, 하나는 음의 바이어스 전압 영역(301)에 있고 다른 하나는 양의 바이어스 전압 영역(302)에 있다.
- [0112] 편향점 이전의 낮은 바이어스 전압 영역에서 전류는 바이어스 극성 영역 모두에서 바이어스 전압의 크기에 따라 거의 선형으로 약간 비대칭적으로 증가한다.
- [0113] 편향점 이전의 전류-전압 특성은 나중에 보여지는 것처럼 순방향 바이어스 접합의 전압 종속 접합 매개변수와

IR 손실에 따라 달라질 수 있다.

- [0114] 편향점은 역 바이어스 접합의 SBH가 전류-전압 특성을 지배하기 시작하는 시작 전압에 해당할 수 있다.
- [0115] 각 바이어스 극성에 따른 편향점 사이의 차이는 제1 접합 영역과 제2 접합 영역 사이의 접합 특성의 약간의 차이를 나타낼 수 있다.
- [0116] 여기에는 그래핀과 실리콘 사이의 약간 비대칭적인 계면 특성이 포함될 수 있고, 평형 상태에서 삽입층 두께의 약간의 변화가 존재할 수 있다.
- [0117] 이상적으로는 전류가 편향점을 넘어 바이어스 전압으로 일정할 것으로 예상되나, 암전류 곡선은 포화되지 않으며, 이는 다음 섹션에서 볼 수 있듯이 전압 종속 SBH(Φ_B)가 지속적으로 낮아지는 것을 나타낼 수 있다.
- [0119] 도 4a 내지 도 4d는 본 발명의 일실시예에 따른 무필터 양측 다수 캐리어 유형 컬러 광센서의 에너지 밴드 구조 및 암전류(dark current)로부터 계산한 쇼트키 배리어 높이의 변화를 설명하는 도면이다.
- [0120] 도 4a는 본 발명의 일실시예에 따른 무필터 양측 다수 캐리어 유형 컬러 광센서의 평형 상태의 에너지 밴드 구조를 예시하고, 도 4b는 본 발명의 일실시예에 따른 무필터 양측 다수 캐리어 유형 컬러 광센서의 평형 상태의 바이어스 하의 에너지 밴드 구조를 예시한다.
- [0121] 도 4c는 도 4b에서 설명된 에너지 밴드 구조에 따른 제1 접합 영역에서의 쇼트키 배리어 높이의 변화를 예시하고, 도 4d는 제2 접합 영역에서의 쇼트키 배리어 높이의 변화를 예시한다.
- [0122] 도 4a를 참고하면, 본 발명의 일실시예에 따른 에너지 밴드 구조(400)는 제1 접합 영역과 제2 접합 영역 그리고 디바이스층(401)과 삽입층(402) 그리고 그래핀층(403)에 기반한 에너지 밴드 구조를 나타낸다.
- [0123] 도 4b를 참고하면, 본 발명의 일실시예에 따른 에너지 밴드 구조(410)는 제1 접합 영역과 제2 접합 영역 그리고 디바이스층(411)과 삽입층(412) 그리고 그래핀층(413)에 기반한 에너지 밴드 구조를 나타낸다.
- [0124] 본 발명의 일실시예에 따른 에너지 밴드 구조(400)는 다수 캐리어 유형의 백투백 쇼트키 접합을 형성한다.
- [0125] 본 발명의 일실시예에 따른 에너지 밴드 구조(410)는 바이어스($V > 0$)가 적용되면, 제1 접합 영역은 역방향(Reverse) 바이어스되고 제2 접합 영역은 순방향(Forward) 바이어스될 수 있다.
- [0126] 예를 들어, 순방향으로 편향된 제2 접합 영역에 있는 그래핀층(413)의 페르미 준위(Fermi level)는 위쪽으로 이동할 수 있다.
- [0127] 한편, 역 바이어스된 제1 접합 영역에 있는 그래핀의 페르미 준위는 실리콘의 가전자대 가장자리로 아래쪽으로 이동할 수 있다.
- [0128] 이는 삽입층(412)에 작용하는 산화물 전압(V_{ox})과 그래핀의 페르미 준위 이동(G)에 기인하고, 여기서 $q(= e)$ 는 전자의 기본 전하일 수 있다.
- [0129] 결과적으로, 다수 캐리어에 대한 에너지 장벽 높이(Φ_B)는 ΔV_{ox} 및 V_G 으로 표시된 삽입층(412)과 그래핀층(413)에 작용하는 전압에 의해 초기 SBH에서 수정될 수 있다.
- [0130] 하기 수학식 1은 에너지 장벽 높이를 설명한다.
- [0132] [수학식 1]
- [0133]
$$\Phi_B = \Phi_{SBH_0} \mp q\Delta V_{ox} \mp q\Delta V_G = \Phi_{SBH_0} \mp \alpha_{ox}V \mp \alpha_G\sqrt{V}$$
- [0135] 수학식 1에서, $+(-)$ 는 순방향(역방향) 바이어스 접합이고 $q\Delta V_{ox} = \alpha_{ox}V$ 로 정의될 수 있다.
- [0136] 절연 계면층에 작용하는 전압은 적용된 바이어스 전압 V 의 선형 응답 함수일 것으로 예상된다.

[0137] 한편, 그래핀층(413)에 작용하는 전압은 인가된 바이어스 전압의 제곱근에 비례하는 $q\Delta V_G = \alpha_G \sqrt{V}$ 라고, 가정하면 계수 α_{ox} 및 α_G 의 단위는 각각 기본 전하(q) 및 $eV/\sqrt{V}$ 일 수 있다.

[0138] 약간 비대칭적인 특성을 갖는 I-V 특성을 준수하기 위해 외부 없이 초기 SBH($\Phi_{SBH_0,F}$ [eV]) 및 SBH($\Phi_{SBH_0,R}$ [eV]) 일 수 있다. 여기서, 접합은 각각 순방향 바이어스와 역방향 바이어스가 될 수 있다.

[0139] 수학적 1에서 순방향 접합에서의 에너지 장벽 높이는 수학적 2로 표현될 수 있다.

[0141] [수학적 2]

[0142]
$$\Phi_{BF} = \Phi_{SBH_0,F} + \alpha_{ox,F} V + \alpha_{G,F} \sqrt{V}$$

[0144] 한편, 역방향 바이어스 접합에서의 에너지 장벽 높이에 대한 수학적 3으로 표현될 수 있다.

[0146] [수학적 3]

[0147]
$$\Phi_{BR} = \Phi_{SBH_0,R} - \alpha_{ox,R} V - \alpha_{G,R} \sqrt{V}$$

[0149] 수학적 2 및 3에서 계수 $\alpha_{ox,F}$, $\alpha_{G,F}$, $\alpha_{ox,R}$ 및 $\alpha_{G,R}$ 은 모두 양수 이다.

[0150] 순방향 바이어스 접합의 에너지 장벽 높이 Φ_{BF} 는 바이어스가 증가함에 따라 증가하는 도 4d의 그래프(430)에서 확인할 수 있고, 역방향 바이어스 접합의 에너지 장벽 높이 Φ_{BR} 는 억제되는 것을 도 4c의 그래프(420)에서 확인할 수 있다.

[0151] 그래프(420)는 음의 바이어스 전압 영역(421)을 나타내고, 양의 바이어스 전압 영역(422)을 나타낸다.

[0152] 그래프(430)는 음의 바이어스 전압 영역(431)을 나타내고, 양의 바이어스 전압 영역(432)을 나타낸다.

[0153] 수정된 쇼트키 열이온 방출 이론에 기초하여 얇은 터널링 장벽이 있는 단일 쇼트키 접합의 전류 밀도-전압(J-V) 특성은 수학적 4와 같이 표현할 수 있다.

[0155] [수학적 4]

[0156]
$$J = A^* T^2 \exp(-\sqrt{\xi} d) \exp\left(-\frac{\Phi_B}{kT}\right) \exp\left(\frac{q(V - IR_S)}{\eta kT} - 1\right)$$

[0158] 수학적 4에서, $A^* [Acm^{-2}K^{-2}]$ 는 유효 리차드슨(Richardson) 상수일 수 있고, $T[K]$ 는 온도일 수 있으며, ξ [eV]는 터널링에 대한 유효 장벽 높이를 나타낼 수 있고, $d[\text{\AA}]$ 은 삽입된 터널링 층의 두께를 나타낼 수 있다. 또한, η 는 단위가 없는 이상 요인일 수 있다.

[0159] 수학적 4에 기반하여 두 접합의 기여도를 고려한 연속 쇼트키 다이오드의 총 전류 밀도(J_T)는 수학적 5로 나타낼 수 있다.

[0161] [수학식 5]

$$J_T = \frac{2J_F J_R \sinh\left(\frac{qV_{Net}}{2nkT}\right)}{J_F \exp\left(\frac{qV_{Net}}{2nkT}\right) + J_R \exp\left(-\frac{qV_{Net}}{2nkT}\right)}$$

[0162]

[0164] 수학식 5에서, 순방향 접합(J_R) 및 역방향 바이어스 접합(J_F)에서의 포화 전류 밀도는 각각 수학식 6 및 7과 같이 정의될 수 있다.

[0166] [수학식 6]

$$J_F = A^* T^2 \exp(-\sqrt{\xi_F} d_F) \exp\left(-\frac{\Phi_{BF}}{kT}\right)$$

[0167]

[0169] [수학식 7]

$$J_R = A^* T^2 \exp(-\sqrt{\xi_R} d_R) \exp\left(-\frac{\Phi_{BR}}{kT}\right)$$

[0170]

[0172] 수학식 6 및 7에 대해 Φ_{BF} 및 Φ_{BR} 을 추정할 때 직렬 저항으로 인한 IR 손실을 설명하기 위해 적용된 바이어스 대신 $V_s (=V - IR_s)$ 을 도입할 수 있다. 여기서, 직렬 저항 s 은 $7.600k\Omega$ 으로 추정될 수 있다.

[0173] 수학식 5의 순 전압 V_{NET} 은 그래핀과 각 접합의 절연 삽입층에서의 바이어스 소비를 제외하고 수학식 8의 정의를 따를 수 있다.

[0175] [수학식 8]

$$V_{Net} = V_s - \alpha_{ox,F} V_s - \alpha_{G,F} \sqrt{V_s} - \alpha_{ox,R} V_s - \alpha_{G,R} \sqrt{V_s}$$

[0176]

[0178] 수학식 8을 바탕으로 SBH가 전압에 따라 변하고 SBH가 1인 이상계수(n)를 1로 설정하더라도 도 3의 실험 암전류-전압 특성곡선은 수학식 5와 일치한다. 수학식 5의 결과는 도 3의 그래프(300)에서 빨간 점선으로 표시되었다.

[0179] 위에서 언급했듯이 편향점에서의 전류는 $\Phi_{SBH,0,R}$ [eV]에 크게 의존한다. 편향점 이전의 I-V 특성은 Φ_{BF} 의 전압 종속 SBH에 의존하는 것을 수학식 2를 통해 확인할 수 있다.

[0180] 편향점 이후의 I-V 특성은 Φ_{BR} 의 전압 종속 SBH에 의존하는 것을 수학식 3에 기반하여 확인할 수 있다.

[0181] 이상계수가 1인 경우에도 거의 완벽한 피팅은 전압 의존 SBH와 직렬 저항으로 인한 전압 손실을 고려할 때 결합 상태를 최소화하여 인터페이스 상태가 잘 최적화되었음을 나타낸다.

[0182] 상술한 수학식들에 기반하여 컬러 광센서의 I-V 특성에 대하여 적합한 매개변수(parameter)를 도출할 수 있다.

[0183] 효과적인 터널링 장벽 높이 ξ 는 3.1 eV로 설정될 수 있고, 순방향 바이어스 접합($\Phi_{SBH,0,F}$) 및 역 바이어스 접합($\Phi_{SBH,0,R}$)에 대한 평형에서 추출된 SBH는 각각 0.232 eV 및 0.201 eV일 수 있다.

[0184] 제1 접합 영역 및 제2 접합 영역의 계면층 두께는 예상한 대로 각각 $6.79 \text{ \AA}$ 및 $6.48 \text{ \AA}$ 로 추정될 수 있다.

- [0185] 이는 도 3의 그래프(300)에 표시된 I-V 곡선의 비대칭으로 표시되는 접합 매개변수에 약간의 비대칭이 있음을 나타낸다.
- [0186] 계면층은 원자 규모로 형성되었으며 그 두께는 두 접합 영역에서 비교적 균일할 수 있다.
- [0187] 광이 비춰지지 않는 어두운 조건에서 수확식 2 및 3은 도 4c 및 도 4d의 그래프(420) 및 그래프(430)에 따라 추출된 전압 종속 SBH는 인가된 바이어스 전압에 따라 역방향 바이어스 접합의 SBH가 감소하는 반면 순방향 바이어스 접합의 SBH는 동시에 증가함을 확인할 수 있다.
- [0188] 이것은 도 4b에 표시된 에너지 밴드 구조(410)를 따르고, 실리콘 밴드는 역 바이어스 접합에서 아래로 구부러지지만 순 바이어스 접합에서 위로 구부러질 수 있다.
- [0189] 본 발명의 일실시예에 따르면, 컬러 광센서는 금속 전극을 통해 인가되는 전압이 0보다 클 경우 제1 접합 영역이 역방향 바이어스 되고, 제2 접합 영역이 순방향 바이어스가 되며, 금속 전극을 통해 인가되는 전압이 0보다 작을 경우 제1 접합 영역이 순방향 바이어스 되고, 제2 접합 영역이 역방향 바이어스가 되며, 순방향 바이어스에서는 쇼트키 장벽 높이(Schottky Barrier Height, SBH)가 증가하고, 역방향 바이어스에서는 쇼트키 장벽 높이가 감소할 수 있다.
- [0190] 따라서, 본 발명은 삽입층(insertion layer)의 페르미 레벨 조정성을 효율적으로 활용하여 쇼트키 장벽 높이(Schottky barrier height, SBH) 변조 비율을 높여 입사광에 대한 응답성을 향상된 무필터 양측 다수 캐리어 유형 컬러 광센서를 제공할 수 있다.
- [0192] 도 5a 내지 도 5d는 본 발명의 일실시예에 따른 무필터 양측 다수 캐리어 유형 컬러 광센서에서 단일 접합 영역에 광이 비추는 모델을 설명하는 도면이다.
- [0193] 도 5a는 본 발명의 일실시예에 따른 무필터 양측 다수 캐리어 유형 컬러 광센서에서 제1 접합 영역에만 광이 비추는 모델을 예시하고, 도 5b는 본 발명의 일실시예에 따른 무필터 양측 다수 캐리어 유형 컬러 광센서에서 제2 접합 영역에만 광이 비추는 모델을 예시한다.
- [0194] 도 5c는 본 발명의 일실시예에 따른 무필터 양측 다수 캐리어 유형 컬러 광센서에서 제1 접합 영역에만 광이 비추는 모델에서 바이어스 전압이 인가되는 동안 밝은 색상의 종속 피크 분포를 그래프를 통해 예시하고, 도 5d는 본 발명의 일실시예에 따른 무필터 양측 다수 캐리어 유형 컬러 광센서에서 제2 접합 영역에만 광이 비추는 모델에서 바이어스 전압이 인가되는 동안 밝은 색상의 종속 피크 분포를 그래프를 통해 예시한다.
- [0195] 도 5a를 참고하면, 본 발명의 일실시예에 따른 무필터 양측 다수 캐리어 유형 컬러 광센서(500)에 마스크(501)에 기반하여 광(502)이 제1 접합 영역에만 조사된다.
- [0196] 광(502)은 적색, 녹색 및 청색 광으로 구성된다.
- [0197] 디바이스층(503)에서는 적색, 녹색 및 청색 광의 포토 캐리어가 운송하는 방향과 각 포토캐리어의 이동 거리를 나타내고, "+"는 정공이고, "-"는 전자를 나타낸다.
- [0198] 도 5b를 참고하면, 본 발명의 일실시예에 따른 무필터 양측 다수 캐리어 유형 컬러 광센서(510)에 마스크(511)에 기반하여 광(512)이 제2 접합 영역에만 조사된다.
- [0199] 광(512)은 적색, 녹색 및 청색 광으로 구성된다.
- [0200] 디바이스층(513)에서는 적색, 녹색 및 청색 광의 포토 캐리어가 운송하는 방향과 각 포토캐리어의 이동 거리를 나타내고, "+"는 정공이고, "-"는 전자를 나타낸다.
- [0201] 도 5c의 그래프(520)를 참고하면, 음의 바이어스 전압 영역(521)을 나타내고, 양의 바이어스 전압 영역(522) 나타낸다.
- [0202] 도 5d의 그래프(530)를 참고하면, 음의 바이어스 전압 영역(531)을 나타내고, 양의 바이어스 전압 영역(532) 나타낸다.
- [0203] 그래프(520) 및 그래프(530)에서 625nm(빨간색), 530nm(녹색) 및 455nm(파란색)의 세 가지 다른 파장 조명 제1 접합 영역 및 제2 접합 영역에 대하여 나타내고, 얇은 검은색 곡선은 암전류를 나타낼 수 있다.
- [0204] 그래프(520)과 그래프(530)은 10nW의 적색(R), 녹색(G), 청색(B) 광이 조사될 때, 접합 영역 및 바이어스 극성

이 서로 다르지만 서로 광전류 측정 모양은 매우 유사하다.

- [0205] 그래프(520)과 그래프(530)에 도시된 조명 하에서의 실험적 I-V 곡선은 또한 그래프(520)과 그래프(530)에서 점선으로 도시된 바와 같이 수학적 5를 사용하여 적합화될 수 있다.
- [0207] 도 6a 및 도 6b는 본 발명의 일실시예에 따른 무필터 양측 다수 캐리어 유형 컬러 광센서에서 RGB 파장에서 생성되는 광전류 및 응답도를 설명하는 도면이다.
- [0208] 도 6a 의 그래프(600)는 그래프(520)에 기반한 광전류 및 응답도를 예시하고, 도 6b 의 그래프(610)는 그래프(530)에 기반한 광전류 및 응답도를 예시한다.
- [0209] 그래프(600)와 그래프(610)의 광전류 스펙트럼은 빛이 각각 그래프(600)의 제1 접합 영역과 그래프(610)의 제2 접합 영역에서 양쪽 바이어스 접합 극성에 대해 조명될 때에도 거의 서로 유사하다.
- [0210] 그래프(600)와 그래프(610)의 오른쪽 축에 해당하는 응답도 곡선의 모양은 그래프(600)와 그래프(610)에 함께 표시된 10nW의 주어진 입력 광 전력에 대한 광전류 곡선에 해당하는 왼쪽 축과 동일하다.
- [0211] 광전류 및 광응답은 조명되는 접합, 접합 극성 및 암전류에 거의 의존하지 않는다.
- [0212] 그래프(600)와 그래프(610)에 표시된 실험적 광전류(빛 조명으로 인한 전류 증가 $\sim 200 \mu A$)가 100% 양자를 사용하여 10nW의 조명된 광출력에 대해 예상되는 광전류($\sim nA$)보다 훨씬 높다는 것을 쉽게 알 수 있다.
- [0213] 이 증폭은 주로 광학 SBH 변조를 나타내는 다수 캐리어 유형 그래핀-절연체-실리콘 광검출기의 고유 속성에 기인하며, 이는 수학적 5를 기반으로 피팅하여 그래프(420) 및 그래프(430)에 표시된 실험 I-V 곡선에서 추출하여 활용될 수 있다.
- [0214] 청색광 조명에서의 응답성은 최대 $2.0 \times 10^4 A W^{-1}$ 에 달하며, 그래프(600) 및 그래프(610)와 같이 적색 및 녹색 조명에서도 우수한 광 응답성을 나타낼 수 있다.
- [0215] 100% 양자 효율에서 예상되는 양과 비교하여 광전류 증가는 몇 자릿수 더 높을 수 있다.
- [0216] 채택된 바이어스 전압 범위 내에서 $2.0 \times 10^4 A W^{-1}$ 의 가장 높은 응답성을 기반으로 하여 컬러 광센서의 비검출도 $D^* = \sqrt{A/NEP}$ 가 계산된다. 여기서, $A[cm^2]$ 는 조명 영역이고 $NEP[WHz^{-1/2}]$ 는 노이즈 증가 전력일 수 있다.
- [0217] 여기에서 는 $[2e(I_a + I_{ph})]^{1/2}/R$ 으로 간주되며, 여기서 노이즈 전류는 기본 전하와 동일하다고 가정되고, 는 응답도 $[A W^{-1}]$ 일 수 있다.
- [0218] 이를 기반으로 추정되는 비검출성은 5V 및 청색광 조명에서 $1.57 \times 10^{14} cm Hz^{1/2} W^{-1}$ 일 수 있다.
- [0219] 예를 들어 증폭 메커니즘을 이해하기 위해 그래프(520)의 양의 바이어스 전압 영역(521)에 해당하는 도 5a를 고려해볼 수 있다.
- [0220] 역 바이어스된 제1 접합 영역에서 과잉 광생성 전자는 얇은 절연층 근처의 실리콘 영역에 축적될 수 있다.
- [0221] 그런 다음 전압 유도 SBH 감소로 인해 얇은 절연층을 통해 제1 접합 영역(수직 수송)의 양으로 바이어스된 그래핀층으로 비교적 쉽게 터널링될 수 있다.
- [0222] 동시에, 광생성된 다수 캐리어인 정공은 역 바이어스된 제1 접합 영역에서 공백 영역을 통해 순방향으로 바이어스된 제2 접합 영역으로 전송되며, 이 공백 영역은 도 5a에서와 같이 디바이스층(측면 전송)일 수 있다.
- [0223] 순방향 바이어스 접합(도 5a의 제2 접합 영역)에서 음으로 바이어스된 그래핀에 축적된 전자에 의해 풍부한 정공 공급이 진행될 수 있다.
- [0224] 이 전자는 역 바이어스 접합에서 나온 정공과 재결합하여 제2 접합 영역의 절연층에서 순 전자와 바이어스 소비를 줄일 수 있다.
- [0225] 광 생성된 과잉 홀은 제1 접합 영역에서 풍부하게 제공되기 때문에 이제 제2 접합 영역의 실리콘 영역에 자연적으로 축적되어 어두운 조건에 대해 순방향 바이어스 접합에서 SBH를 낮출 수 있다.

- [0226] 이것은 도 7c의 조명 조건에서 더 큰 밴드 굽힘으로 표시될 수 있다.
- [0227] 제2 접합 영역에서 감소된 바이어스 소비는 총 인가된 바이어스의 재분배로 이어지며, 따라서 역 바이어스된 접합(이 경우 제1 접합 영역)에서 SBH를 추가로 낮추는 데 기여할 수 있다. 요컨대, 두 접합에서 광학적으로 유도된 SBH의 저하가 서로 결합될 수 있다.
- [0229] 도 7a 내지 도 7c는 본 발명의 일실시예에 따른 무필터 양측 다수 캐리어 유형 컬러 광센서에서 광유도 및 전압 의존적인 쇼트키 장벽 높이의 변화를 설명하는 도면이다.
- [0230] 도 7a의 그래프(700)는 음의 바이어스 전압 영역(701)을 나타내고, 양의 바이어스 전압 영역(702)을 나타내며, 제1 접합에서의 적색광 조사 경우(703), 제1 접합에서의 녹색광 조사 경우(704) 및 제1 접합에서의 청색광 조사 경우(705)와 제2 접합에서의 적색광 조사 경우(706), 제2 접합에서의 녹색광 조사 경우(707) 및 제2 접합에서의 청색광 조사 경우(708)를 나타낸다.
- [0231] 도 7b의 그래프(710)는 음의 바이어스 전압 영역(711)을 나타내고, 양의 바이어스 전압 영역(712)을 나타내며, 제1 접합에서의 적색광 조사 경우(713), 제1 접합에서의 녹색광 조사 경우(714) 및 제1 접합에서의 청색광 조사 경우(715)와 제2 접합에서의 적색광 조사 경우(716), 제2 접합에서의 녹색광 조사 경우(717) 및 제2 접합에서의 청색광 조사 경우(718)를 나타낸다.
- [0232] 암 상태의 I-V 곡선에서 예상한 바와 같이 역 바이어스 접합의 SBH는 그래프(700) 및 그래프(710)에 검은색 곡선으로 표시된 것처럼 전압 종속 산화물 전압과 그래핀 페르미 준위로 인해 바이어스 전압으로 낮아질 수 있다.
- [0233] 밝은 조명 하에서 어두운 상태에 비해 제로 바이어스 전압에서도 상당한 SBH 저하가 있다.
- [0234] 이것은 내장 전위에서 분리된 광 발생 전자와 정공에 기인하고, 광 생성된 전자는 얇은 절연층을 통해 접합 전극으로 터널링된 다음 전선을 통해 상대 전극으로 이동하고 광 생성된 정공은 얇은 절연층과의 계면에 축적될 수 있다.
- [0235] 이것은 양쪽 접합에서 초기 밴드 굽힘을 평평하게 하여 초기 내장 전압을 줄일 수 있다.
- [0236] 또한, 전하 분리는 산화물 전압의 발달과 그래핀 페르미 레벨 이동을 유도하고 그 결과 광 조명 전의 SBH와 비교하여 두 접합에서 SBH가 낮아질 수 있다.
- [0237] 또한, SBH 감소는 그래프(700) 및 그래프(710)에 표시된 것처럼 조명된 빛의 파장에 따라 달라질 수 있다.
- [0238] 제로 바이어스 전압에서 SBH를 낮추는 것은 전자와 정공의 파장 의존적 흡수 및 생성비로 인해 조명된 빛의 파장에 크게 의존할 수 있다.
- [0239] SBH는 바이어스 전압뿐 만 아니라 위에서 언급한 바와 같이 반대 방향으로 바이어스된 두 접합의 결합에 광이 조명되는 경우에도 낮아질 수 있다.
- [0240] 더 높은 전자-정공 쌍 생성 비율은 더 많은 SBH 저하를 유도할 수 있다.
- [0241] 이는 파장 의존적 흡수와 실리콘 디바이스층의 계면 특성에 기인한다.
- [0242] 그래프(700) 및 그래프(710)에 따르면 어두운 형태와 비교하여 조명이 있을 때 두 접합에서 SBH가 감소한다.
- [0243] 실리콘 표면에 삽입된 절연층이 적절한 두께(각각 제1 접합 영역 및 제2 접합 영역에서 $6.79 \text{ \AA}$ 및 $6.48 \text{ \AA}$)를 갖고 결합 상태의 수를 효율적으로 줄였다는 것일 수 있다.
- [0244] 두께는 누설 전류를 제어한다는 의미에서 적절할 뿐만 아니라 SBH 제어에 기여하는 이 두께에 걸친 바이어스 소비를 제어할 수 있다.
- [0245] 도 7c는 본 발명의 일실시예에 따라 순방향 바이어스 접합에서 밴드 굽힘에 의해 유발된 광 유도 전압 재분배로 인한 어두운 상태와 비교하여 광 조명 하에서 SBH 변조 메커니즘을 예시한다.
- [0246] 도 7c를 참고하면, 본 발명의 일실시예에 따른 무필터 양측 다수 캐리어 유형 컬러 광센서에 대한 에너지 밴드(720)는 바이어스가 인가되면 제1 접합 영역측으로 바이어스가 재분배되고, 제2 접합 영역 측으로 다수 캐리어가 공급되어 되는 것을 예시한다.

- [0247] 순방향 바이어스 접합의 에너지 장벽 높이(Φ_{BF})와 역방향 바이어스 접합의 에너지 장벽 높이(Φ_{BR})는 암(dark) 상태에 대비하여 광 조사 상태(ill)에서 줄어든다.
- [0248] 도 8a 및 도 8b는 본 발명의 일실시예에 따른 무필터 양측 다수 캐리어 유형 컬러 광센서에 포함되는 삼입층에 의한 결함 상태(defect state)에 대한 쇼트키 장벽 높이 변화를 설명하는 도면이다.
- [0249] 도 8a의 모델(800)과 같이 접합 계면에 결함 상태가 많은 경우 결함 상태에 의한 재결합이 높아진다.
- [0250] 모델(800)은 결함 상태 및 SBH 변조에 대한 부정적인 영향으로 인한 페르미 준위의 고정을 나타낸다.
- [0251] 그 결과, 실리콘 밴드 밴딩, 산화물 전압 및 그래핀 페르미 준위 이동이 도 8b의 모델(810)의 경우보다 작을 것으로 예상된다.
- [0252] 도 8b의 모델(810)은 결함 상태가 제거될 때 예상되는 것을 보여준다.
- [0253] SBH 감소는 결함 상태가 없는 상태에서 효과적으로 달성되며 도 8b의 이 개념은 도 7c를 통해 추가 검증될 수 있다.
- [0254] 모델(810)은 패시베이션 후 효율적인 SBH 변조를 나타낸다.
- [0255] 모델(800)과 모델(810)을 비교하면, 페르미 준위 이동이 증가하고, 리설턴트(resultant) SBH가 감소한다.
- [0257] 도 9a 내지 도 9c는 본 발명의 일실시예에 따른 무필터 양측 다수 캐리어 유형 컬러 광센서에 포함되는 디바이스층의 두께 및 삼입층과 관련된 광응답 특성을 설명하는 도면이다.
- [0258] 도 9a는 접합 영역 사이의 공백 영역의 단면에 대한 주사 현미경 이미지(900)를 개시한다.
- [0259] 주사 현미경 이미지(900)를 살펴보면, 스퍼터 증착된 상부 산화물(1)이 ~ 500 nm의 두께를 가지고, SOI의 디바이스층(2)이 ~ 2.3 μm 를 가지며, SOI의 BOX층(3)이 ~ 500 nm의 두께를 가지고, SOI의 처리층(4)이 위치한다.
- [0260] 도 9b는 각 파장, 625nm(빨간색), 530nm(녹색) 및 455nm(파란색)에서 전면으로부터 거리의 함수로서 광 생성 캐리어의 정규화된 생성 속도를 그래프(910)를 통해 개시한다.
- [0261] 조명 아래에서 SBH의 추정값은 조명의 파장이 짧을수록 낮아질 수 있다.
- [0262] 주어진 광출력()에 대한 광자 플럭스($P/h\nu = \lambda P/hc$)는 파장(λ)에 따라 증가하고, 여기서 h 는 플랑크 상수이고 c 는 빛의 속도이다.
- [0263] 즉, 빛을 흡수하는 실리콘이 입사광을 완전히 흡수할 만큼 충분히 두꺼우면 주어진 광전력(P)에 대한 광전류는 에너지에 의해 결정되는 차단 파장을 충족하지 않는 한 파장에 따라 증가한다고 볼 수 있다. 이는 파장이 증가함에 따라 디바이스층의 흡수율이 감소함을 의미한다.
- [0264] 625nm(적색), 530nm(녹색), 455nm(청색) 파장광에 대한 실리콘의 흡수계수는 각각 3.40×10^3 , 7.85×10^3 , $2.33 \times 10^4 [\text{cm}^{-1}]$ 이며, 해당 흡수깊이는 2.94, 1.27로 추정된다. 2.94, 1.27 및 0.429 μm 이다.
- [0265] 이를 기반으로 100% 양자 효율에서 추정된 포토캐리어 생성 속도를 추정하고 정규화한 다음 도 9b의 그래프(910)와 같이 각 파장에서 조명 조도에 대한 실리콘 깊이 함수인 하기 수학적 식 9로 나타낼 수 있다.
- [0267] [수학적 식 9]
- [0268]
$$G = \alpha N_0 e^{-\alpha z}$$
- [0270] 수학적 식 9에서, G 는 생성물을 나타낼 수 있고, N_0 는 유닛 볼륨에서 포톤 플럭스를 나타낼 수 있으며, α 는 흡수계수를 나타낼 수 있고, z 는 매체(material) 간 거리를 나타낼 수 있다.
- [0271] 주사 현미경의 이미지(900)에서 확인 되는 바와 같이 SOI의 평균 디바이스층은 ~ 0.18 μm 의 표준 편차를 가진

2.3 μm 두께의 실리콘일 수 있다.

- [0272] 그래프(910)에 따르면 이 두께로 디바이스층 내 청색광(파장 = 455nm)의 예상 흡수는 ~ 99.5%이다. 반면에 녹색광(파장 = 530nm)과 적색광(파장 = 625nm)에 대한 흡수는 각각 83.6%와 54.3%일 수 있다.
- [0273] 도 9c는 접합 영역 아래 SOI(회색)의 디바이스층 내 광캐리어의 평균 분포 및 재조합에 대한 개략도를 예시한다.
- [0274] 도 9c의 개략도는 무필터 양측 다수 캐리어 유형 컬러 광센서의 어느 하나의 접합 영역(920)을 나타내고, 접합 영역(920)에는 제1 인터페이스(IS-1) 및 제2 인터페이스(IS-2)가 위치한다.
- [0275] 접합 영역(920)은 삽입층(921), 디바이스층(922) 및 BOX층(923)이 구성되고, 청색광의 파장에 해당하는 포토캐리어(924), 녹색광의 파장에 해당하는 포토캐리어(925) 및 적색광의 파장에 해당하는 포토캐리어(926)를 나타낸다.
- [0276] 적색, 녹색 및 청색 조명 조명에 대해 관찰된 광전류 비율은 위에서 추정된 흡수 비율을 기반으로 한 예상을 단순히 따르지 않는다.
- [0277] 이것은 파장 의존적 흡수율 외에 관찰된 파장 의존성에 기여하는 또 다른 중요한 요소가 채용된 장치 구조에 있음을 의미한다.
- [0278] 디바이스층의 경계면에 대한 광생성 캐리어의 수직 위치인데, 이것은 인터페이스 결합 상태가 캐리어 재결합 중심으로 작용하기 때문에 도 9c에 표시된 것처럼 파장에 따른 광생성 캐리어 밀도 구배와 직접 관련이 있다.
- [0279] 도 9c는 파장에 따른 광캐리어 생성, 확산 및 결합에 의한 캡처를 기반으로 시간 평균 광캐리어의 깊이 분포를 도식적으로 나타낸다.
- [0280] 도 9c는 파장 의존적 광응답이 물질의 흡수뿐만 아니라 물질의 물리적 구조에도 의존한다는 것을 보여준다.
- [0281] 본 발명의 일실시예에 따르면 컬러 광센서는 실리콘으로 이루어진 디바이스층의 두께가 상기 0.5 μm 내지 3 μm 에 따라 입사하는 광의 파장이 증가하면 광전류가 감소하여 광전류의 광 생성 캐리어의 생성비에 기반하여 입사하는 광의 파장에 따른 입사하는 광의 컬러를 검출할 수 있다.
- [0282] 도 9c는 입사광이 접합 영역을 통해 실리콘으로 들어가는 경우를 고려하고, 실리콘의 상단 표면에 위치한 제1 인터페이스(IS-1)는 그래핀 페르미 준위가 고정되는 것을 방지하는 수소 패시베이션으로 인해 결합 상태가 감소할 수 있다.
- [0283] 이것은 빛 조명에 의해 접합부에서 SBH를 효율적으로 낮출 수 있으며, 이는 앞에서 언급한 바와 같이 광전류 증폭과 크게 관련이 있을 수 있다.
- [0284] 본 발명의 일실시예에 따르면 제1 인터페이스(IS-1)는 제1 접합 영역 및 제2 접합 영역 중 어느 하나의 접합 영역에 포함되는 삽입층과 디바이스층에서 삽입층이 삽입층 상의 그래핀층과 디바이스층 사이에 터널링 장벽에 작용하는 산화물 전압에 의한 다수 캐리어에 대한 쇼트키 장벽 높이(Schottky Barrier Height, SBH)의 광유도 변조(modulation)를 허용할 수 있다.
- [0285] 결과적으로 광전류가 효율적으로 증폭된다. 깊이 방향을 따른 광생성 캐리어의 수직 분포 중심은 도 9c와 같다.
- [0286] 청색광 조명의 경우 수직 분포 중심은 무결점 접합 인터페이스(IS-1)에 가깝고, 이에 따라 청색광 조명의 경우 손실이 적어 광응답성이 높을 수 있다.
- [0287] 녹색광 조명의 경우, 광발생 캐리어(925)가 접합부로 드리프트하는 것과 제2 인터페이스(IS-2)로의 확산 사이에 경쟁이 존재한다.
- [0288] 그 결과, 녹색광에 대한 광발생 캐리어의 깊이 중심은 청색광에 대한 것보다 매물 후면 경계면에 조금 더 가까워질 수 있다.
- [0289] 또한 접합부의 조명은 가전자대 가장자리로 정공에 대한 준 페르미 준위를 이동시키고, 결과적으로 제2 인터페이스(IS-2)의 상태는 홀을 포착하고 양전하를 나타낼 수 있다.
- [0290] 그런 다음 양전하를 띤 계면 상태는 광 생성된 소수 캐리어를 끌어들이고, 결과적으로 그들은 서로 재결합한다.
- [0291] 이것이 녹색 조명 조명에 대한 광전류가 단순한 예상보다 적은 이유이다.

- [0292] 적색광 조명의 경우 과잉 캐리어의 수직 분포 중심이 결합이 있는 제2 인터페이스(IS-2)에 훨씬 더 가깝게 배치된다.
- [0293] 요약하면, 빛의 파장이 길어질수록 그래프(910)에서 예상한 것처럼 매몰된 제2 인터페이스(IS-2) 근처의 더 깊은 실리콘 영역에서 더 많은 포토캐리어가 생성될 수 있다.
- [0294] 따라서, 광발생 캐리어 밀도 구배는 파장이 길수록 낮아지고, 제2 인터페이스(IS-2)에 가까운 소수 캐리어는 인터페이스의 결합 상태에 의해 쉽게 캡처된 다음 재결합될 수 있다.
- [0295] 실리콘 디바이스층의 처리되지 않은 제2 인터페이스(IS-2)는 잠재적으로 상당한 양의 결합 상태를 가지고 있을 수 있다.
- [0296] 이러한 이유로 적색광에 의해 생성된 포토캐리어(926)는 이 계면의 결합 상태에 의해 포착될 가능성이 높다.
- [0297] 이 인터페이스의 견고성은 SEM 이미지(900)에서 찾을 수 있는 것처럼 미미한 영향을 주는 것으로 간주되기 때문에 논의에서 제외될 수 있다.
- [0298] 도 10a 및 도 10b는 본 발명의 일실시예에 따른 무필터 양측 다수 캐리어 유형 컬러 광센서에서 공백 영역에 광이 비추는 모델을 설명하는 도면이다.
- [0299] 도 10a는 본 발명의 일실시예에 따른 무필터 양측 다수 캐리어 유형 컬러 광센서에서 공백 영역에 광이 비추는 모델을 예시하고, 도 10b는 본 발명의 일실시예에 따른 무필터 양측 다수 캐리어 유형 컬러 광센서에서 공백 영역에만 광이 비추는 모델에서 바이어스 전압이 인가되는 동안 밝은 색상의 종속 피크 분포를 그래프를 통해 예시한다.
- [0300] 도 10a를 참고하면, 본 발명의 일실시예에 따른 무필터 양측 다수 캐리어 유형 컬러 광센서(1000)에 마스크(1001)에 기반하여 광(1002)이 공백 영역에만 조사된다.
- [0301] 광(1002)은 적색, 녹색 및 청색 광으로 구성된다.
- [0302] 디바이스층(1003)에서는 적색, 녹색 및 청색 광의 포토 캐리어가 운송하는 방향과 각 포토캐리어의 이동 거리를 나타내고, "+"는 정공이고, "-"는 전자를 나타낸다.
- [0303] 도 10b의 그래프(1010)를 참고하면, 음의 바이어스 전압 영역(1011)을 나타내고, 양의 바이어스 전압 영역(1012) 나타낸다.
- [0304] 그래프(1010)에서 625nm(빨간색), 530nm(녹색) 및 455nm(파란색)의 세 가지 다른 파장 조명 공백 영역에 대하여 나타낼 수 있다.
- [0305] 도 10b의 그래프(1010)에 따른 I-V 특성은 명백한 파장 의존성을 나타내므로 이 공백 영역이 파장별로 광 흡수에서 어떻게 작용하는지 보여준다.
- [0306] 청색광 조명의 경우 I-V 곡선은 도 5c의 그래프(520) 또는 도 5d의 그래프(530)과 거의 동일하다.
- [0307] 녹색광 조명의 경우 에 표시된 증폭된 I-V 특성은 비교적 낮은 광전류에서도 도 5c의 그래프(520) 또는 도 5d의 그래프(530)에 표시된 특성과 유사하나 광 전류 측정 값에서 일부 차이가 존재한다.
- [0308] 적색광 조명의 경우 I-V 특성은 어두운 I-V 특성과 거의 유사하나, 도 5c의 그래프(520) 또는 도 5d의 그래프(530)에 표시된 특성과 광 전류 측정 값에서 일부 차이가 존재한다.
- [0309] 그래프(1010)에 표시된 이러한 중요한 파장 종속 동작은 이전 섹션에서 이미 논의된 세 가지 요인에 기인한다.
- [0310] 첫째, 주어진 박막 디바이스층에 대한 파장 의존적 광흡수 효율이고, 둘째, 공백 영역의 깊이에 따른 파장 의존적 과잉 광생성 캐리어 확산 거동이 기울기에 의해 구동되며, 마지막으로 디바이스층의 제2 인터페이스 속성이다.
- [0311] 도 5a 내지 도 5d에 기반하여, 제1 접합 영역 및 제2 접합 영역 중 어느 하나의 접합 영역은, 제1 접합 영역이 순방향 바이어스 이고, 제2 접합 영역이 역방향 바이어스 인 경우와 제1 접합 영역이 역방향 바이어스 이고, 제2 접합 영역이 순방향 바이어스 인 경우 각각에서 제1 인터페이스(IS-1)에 기반하여 상기 입사하는 광의 파장에 따른 제1 광 전류를 생성할 수 있다.
- [0312] 도 10a 및 도 10b에 기반하여, 공백 영역은, 제1 접합 영역이 순방향 바이어스 이고, 제2 접합 영역이 역방향

바이어스 인 경우와 제1 접합 영역이 역방향 바이어스 이고, 제2 접합 영역이 순방향 바이어스 인 경우 각각에서 제3 인터페이스(IS-3)에 기반하여 입사하는 광의 파장에 따른 제2 광 전류를 생성할 수 있다.

- [0313] 예를 들어, 제1 접합 영역이 순방향 바이어스 이고, 제2 접합 영역이 역방향 바이어스 인 경우는 음의 바이어스 영역이고, 제1 접합 영역이 역방향 바이어스 이고, 제2 접합 영역이 순방향 바이어스 인 경우는 양의 바이어스 영역일 수 있다.
- [0314] 상술한 특징을 종합하여, 컬러 광센서는 입사하는 광의 파장에 따라 제1 광전류에 비하여 제2 광전류가 감소되고, 입사하는 광의 파장에 따라 제1 광전류와 제2 광전류 간의 차이가 존재함에 따라 입사하는 광의 컬러를 검출할 수 있다.
- [0315] 예를 들어, 양의 바이어스 영역에서 제1 광전류에 해당하는 청색 파장의 전류가 약 0.35mA이고, 녹색 파장의 전류가 약 0.24 mA 이며, 적색 파장의 전류가 약 0.21mA일 수 있다.
- [0316] 한편, 양의 바이어스 영역에서 제2 광전류에 해당하는 청색 파장의 전류가 약 0.35mA이고, 녹색 파장의 전류가 약 0.23 mA 이며, 적색 파장의 전류가 약 0.16mA일 수 있다.
- [0317] 제1 광전류와 제2 광전류의 차이는 도 12c의 그래프(1220)에 기반하여 보충 설명될 수 있다.
- [0318] 따라서, 본 발명은 접합 영역과 공백 영역 각각에서 생성되는 광전류를 비교하여 컬러필터 없이도 입사광의 컬러를 구분하는 컬러 광센서를 제공할 수 있다.
- [0320] 도 11은 본 발명의 일 실시예에 따른 무필터 양측 다수 캐리어 유형 컬러 광센서에 포함되는 공백 영역과 관련된 광응답 특성을 설명하는 도면이다.
- [0321] 도 11은 공백 영역과 관련된 광응답 특성과 관련하여 접합 영역 아래 SOI(회색)의 디바이스층 내 광캐리어의 평균 분포 및 재조합에 대한 개략도를 예시한다.
- [0322] 도 11의 개략도는 무필터 양측 다수 캐리어 유형 컬러 광센서의 공백 영역(1100)을 나타내고, 접합 영역(1100)에는 제3 인터페이스(IS-3) 및 제2 인터페이스(IS-2)가 위치한다.
- [0323] 공백 영역(1100)은 표면 처리 산화물층(1101), 디바이스층(1102) 및 BOX층(1103)이 구성되고, 청색광의 파장에 해당하는 포토캐리어(1104), 녹색광의 파장에 해당하는 포토캐리어(1105) 및 적색광의 파장에 해당하는 포토캐리어(1106)를 나타낸다.
- [0324] 공백 영역(1100)은 디바이스층(1102)과 표면 처리 산화물층(1101)간에 패시베이션이 이루어지지 않아서 결함 상태(1107)가 형성되고, BOX층(1103)과 디바이스층(1102) 간에 패시베이션이 이루어지지 않아서 결함 상태(1108)가 형성된다.
- [0325] 도 10a에 도시된 바와 같이 공백 영역에서 생성된 두 가지 유형의 포토캐리어는 바이어스 전압 하에서 양 접합 부를 향해 측면으로 수송된다.
- [0326] 간접 밴드 공백 반도체의 고유한 특성으로 인해 결함이 없는 한 주어진 채널 길이에 대한 과도 시간에 비해 광 생성 캐리어의 고유 수명이 매우 길 수 있다.
- [0327] 공백 영역 내의 제3 인터페이스(IS-3)는 디바이스층(1102)과 표면 처리 산화물층(1101) 사이의 인터페이스에 해당한다.
- [0328] 결과적으로 제3 인터페이스(IS-3)의 계면은 광캐리어를 포착할 수 있는 상당한 수의 고유 및 외부 도너형 또는 억셉터형 결함 상태를 가질 뿐만 아니라 스퍼터 증착된 산화물의 고정 산화물 전하가 화학량론적 산화물 상태일 수 있다.
- [0329] 결함 상태의 점유는 준 페르미 준위와 고정 산화물 전하에 의해 구동되는 밴드 굽힘에 따라 달라질 수 있다.
- [0330] 포획된 트랩은 긴 수명으로 대전되고 전기장 형성을 유발에 따라 전계 유도 패시베이션에 의한 재결합 최소화 유발할 수 있다.
- [0331] 또한, 짧은 수명으로 대전되고 재결합 중심 역할을 하는 두 그룹으로 분류할 수 있다.
- [0332] 따라서 공백 영역 조명의 경우 디바이스층의 제3 인터페이스는 디바이스층의 결함 계면에서 고정 산화물 전하

및 트랩 상태에 의해 유도된 필드에 의해 보호될 수 있다.

- [0333] 이것은 화학적으로 패시베이션된 접합 영역에 해당하는 제1 인터페이스의 특성과 대조되고, 제2 인터페이스는 도 9c에서 설명된 내용과 동일하다.
- [0335] 도 12a 내지 도 12c는 본 발명의 일실시예에 따른 무필터 양측 다수 캐리어 유형 컬러 광센서에 대한 흡수 계수, 흡수 깊이 및 광전류 비율을 설명하는 도면이다.
- [0336] 도 12a는 본 발명의 일실시예에 따른 무필터 양측 다수 캐리어 유형 컬러 광센서에 대한 흡수 계수를 예시한다.
- [0337] 도 12a의 그래프(1200)를 참고하면, 본 발명의 일실시예에 따른 무필터 양측 다수 캐리어 유형 컬러 광센서와 관련하여 실리콘의 광 흡수 계수 $\alpha(\text{Å})$ 는 빛의 파장에 따라 다름에 따라 컬러 필터 없이도 입사광의 컬러를 구분할 수 있음을 확인할 수 있다.
- [0338] 도 12b는 본 발명의 일실시예에 따른 무필터 양측 다수 캐리어 유형 컬러 광센서에 대한 흡수 깊이를 예시한다.
- [0339] 도 12b의 그래프(1210)를 참고하면, 본 발명의 일실시예에 따른 무필터 양측 다수 캐리어 유형 컬러 광센서와 관련하여 두개의 서로 다른 인터페이스가 있고, 빛의 침투 깊이 범위에 속하는 두께를 가진 얇은 실리콘이 사용되면 컬러 필터 없이도 입사광의 컬러를 구분할 수 있음을 확인할 수 있다.
- [0340] 또한, 디바이스층의 유한한 두께로 인해($1/\alpha(\text{단파장}) < h < 1/\alpha(\text{장파장})$), 광 생성 캐리어는 파장 의존적 깊이를 갖음을 확인할 수 있다.
- [0341] 도 12c는 본 발명의 일실시예에 따른 무필터 양측 다수 캐리어 유형 컬러 광센서에 대한 광전류 비율을 예시한다.
- [0342] 도 12c의 그래프(1220)를 참고하면, 마크(1221)은 제1 접합 영역에서의 광전류와 제2 접합 영역에서의 광전류 간의 비율을 나타내고, 마크(1222)는 제2 접합 영역에서의 광전류와 공백 영역에서의 광전류 간의 비율을 나타낸다.
- [0343] 그 결과, 전면 및 매립 디바이스층 계면의 별개의 계면 상태에서, 재결합 속도는 앞에서 언급한 바와 같이 파장에 의존한다.
- [0344] 접합 영역의 전면 인터페이스는 증폭 메커니즘에서 중요한 직접적인 역할을 하는 반면 후면 인터페이스는 계면 상태 유도 재조합에 의한 캐리어 손실의 역할을 한다.
- [0345] 마크(1221)의 비율은 앞에서 설명한 것처럼 서로 다른 접합 인터페이스로 인해 조명 파장에 따라 약간 다를 수 있으나 거의 유사하다.
- [0346] 그러나, 마크(1222)의 비율은 서로 다른 접합 인터페이스와 광 발생 캐리어 분포로 인해 조명 파장에 따라 크게 달라지는 것을 확인할 수 있다.
- [0347] 즉, 비율은 전적으로 장치에서 선택한 조명 영역에 대한 입사광의 파장에 따라 다를 수 있다.
- [0348] 다시 말해, 본 발명의 일실시예에 따른 무필터 양측 다수 캐리어 유형 컬러 광센서는 컬러 필터 없이도 입사광의 컬러를 식별하여 검출할 수 있다.
- [0349] 따라서, 본 발명은 컬러 광센서에서 얇은 두께로 디바이스층을 구성함에 따라 계면특성에 기반하여 결함 상태(defect state)의 영향을 감소시키고, 이에 따라 컬러 필터 없이 입사광의 컬러를 감지하며, 신호를 증폭시킬 수 있다.
- [0351] 도 13a 및 도 13b는 본 발명의 일실시예에 따른 무필터 양측 다수 캐리어 유형 컬러 광센서의 제조 방법을 설명하는 도면이다.
- [0352] 도 13a 및 도 13b는 본 발명의 일실시예에 따른 무필터 양측 다수 캐리어 유형 컬러 광센서의 제조 방법을 예시하고, 도 13a는 무필터 양측 다수 캐리어 유형 컬러 광센서의 제조 방법에 따른 무필터 양측 다수 캐리어 유형 컬러 광센서의 측면도를 예시하고, 도 13b는 무필터 양측 다수 캐리어 유형 컬러 광센서의 제조 방법에 따른 무필터 양측 다수 캐리어 유형 컬러 광센서의 상면도를 예시한다.

- [0353] 도 13a를 참고하면, 본 발명의 일실시예에 따른 무필터 양측 다수 캐리어 유형 컬러 광센서의 제조 방법은 단계(S1301) 내지 단계(S1305)를 포함하고, 도 13b를 참고하면, 본 발명의 일실시예에 따른 무필터 양측 다수 캐리어 유형 컬러 광센서의 제조 방법은 단계(S1311) 내지 단계(S1315)를 포함한다.
- [0354] 단계(S1301)는 단계(S1311)에 대응하고, 단계(S1302)는 단계(S1312)에 대응하며, 단계(S1303)는 단계(S1313)에 대응하고, 단계(S1304)는 단계(S1314)에 대응하며, 단계(S1305)는 단계(S1315)에 대응한다. 즉, 각 대응하는 단계에 대한 설명이 대응하는 단계에서 동일하게 적용될 수 있다.
- [0355] 본 발명의 일실시예에 따른 무필터 양측 다수 캐리어 유형 컬러 광센서의 제조 방법은 단계(S1301)에서 SOI(silicon on insulator) 웨이퍼를 준비하고, 준비된 SOI 웨이퍼의 디바이스층 상의 산화물층을 처리하여 표면 처리 산화물층을 형성한다.
- [0356] 구체적으로, 무필터 양측 다수 캐리어 유형 컬러 광센서의 제조 방법은 디바이스층, 매립 산화물(BOX) 층 및 처리 층의 세 가지 층으로 구성되는 SOI 웨이퍼에서 디바이스 레이어의 손상을 방지하기 위해 처리층을 절단한다.
- [0357] SOI 웨이퍼는 대략 $10\text{mm} \times 5\text{mm}$ 크기의 직사각형 조각으로 절단될 수 있다.
- [0358] 그런 다음 15분 동안 아세톤에서 초음파 처리를 진행하고, 초음파 처리 직후, 샘플은 15분 동안 이소프로필 알코올(IPA)에서 또 다른 초음파 처리를 진행한다.
- [0359] 그런 다음 세척된 샘플을 전기 절연을 위해 산화층으로 증착하기 위해 스퍼터링 기계 내부에 배치한다.
- [0360] P형 실리콘 스퍼터 타겟은 스퍼터링 수율(원자/이온)이 석영 타겟보다 높기 때문에 산화물층을 스퍼터링하는 데 사용될 수 있다.
- [0361] 압력이 3.8×10^{-4} Torr에 도달한 후, Ar 및 O_2 가스를 각각 40 sccm 및 5 sccm의 유량으로 챔버에 주입한다.
- [0362] Ar과 O_2 가 유입된 후 압력은 1.0×10^{-2} Torr에 도달하고, RF 전력을 100W로 설정한 다음, 산화물층을 20분 동안 스퍼터링하고, 기체 부피비 $[\text{O}_2]/[\text{Ar}](0.125)$ 와 스퍼터링 시간을 고려하면, 스퍼터링된 a-SiO_x의 산소 함량 x이며, 표면 처리 산화물층의 두께는 약 500nm일 수 있다.
- [0363] 단계(S1302)에서 무필터 양측 다수 캐리어 유형 컬러 광센서의 제조 방법은 포토리소그래피 공정용 마스크를 이용하여 표면 처리 산화물층에서 제1 집합 영역 및 제2 집합 영역에 해당하는 부분들을 에칭한다.
- [0364] 제1 집합 영역 및 제2 집합 영역에 해당하는 부분들은 표면 처리 산화물층의 표면 상태를 초기화하면서 자연 산화물의 식각을 위해 HMDS(Hexamethyldisilazane)와 자연 산화물의 식각을 위한 포토리소그래피 공정에 의해 에칭된다.
- [0365] 에칭된 부분들은 면적 1mm^2 이고, 길이 및 너비는 1mm일 수 있다. 또한, 에칭된 부분들 사이에 해당하는 공백 영역의 너비에 해당하는 사이 거리는 2mm일 수 있다.
- [0366] 단계(S1303)에서 무필터 양측 다수 캐리어 유형 컬러 광센서의 제조 방법은 에칭된 부분들에 수소와 산소를 이용한 CVD(chemical vapor deposition) 기법의 패시베이션에 의해 삽입층을 형성한다. 여기서, 에칭된 부분들은 에칭 이후 드러난 SOI 웨이퍼의 디바이스층일 수 있다.
- [0367] 예를 들어, 무필터 양측 다수 캐리어 유형 컬러 광센서의 제조 방법은 다음 실리콘 표면의 새로운 디자인을 위해 표면 패시베이션 공정이 필요하며, 결함 상태를 포화시키고 균일하고 얇은 절연층을 삽입층으로 형성한다.
- [0368] 여기서, 표면 패시베이션 공정은 수소와 산소를 이용하여 CVD(chemical vapor deposition) 기법을 적용하는 공정일 수 있다.
- [0369] 표면 패시베이션에 의해 삽입층을 형성하기 위해 단계(S1302)이까지 진행된 샘플을 CVD 챔버에 로드한다.
- [0370] 이후, 무필터 양측 다수 캐리어 유형 컬러 광센서의 제조 방법은 진공(-10^{-4} Torr)이 형성된 후, H^2 가스의 유입과 함께 50 sccm의 유속으로 챔버를 170 °C까지 가열하였다.
- [0371] 30분 후, 챔버를 다시 600°C까지 가열하되, 이번에는 50 sccm의 유량으로 산소를 유입하여 제1 집합 영역 및 제2 집합 영역에 삽입층을 형성한다.
- [0372] 단계(S1304)에서 무필터 양측 다수 캐리어 유형 컬러 광센서의 제조 방법은 스퍼터링 공정을 이용하여 상기 표

면 처리 산화물층 상에서 상기 공백 영역이 아니면서 상기 제1 접합 영역 및 상기 제2 접합 영역 각각의 측면 부분에 금속 전극을 형성한다.

- [0373] 무필터 양측 다수 캐리어 유형 컬러 광센서의 제조 방법은 전력이 90W로 설정된 상태에서 알루미늄(Al)과 같은 금속 물질을 이용하여 금속 전극을 형성한다.
- [0374] 단계(S1305)에서 무필터 양측 다수 캐리어 유형 컬러 광센서의 제조 방법은 표면 처리 산화물층, 상기 삽입층 및 상기 금속 전극 상에 그래핀을 전사하여 그래핀층을 형성한다.
- [0375] 구체적으로, 무필터 양측 다수 캐리어 유형 컬러 광센서의 제조 방법은 CVD 성장을 위한 기판 역할을 하는 Cu 호일을 화학적으로 에칭한 후 대략 $2\text{mm} \times 4\text{mm}$ 크기의 그래핀을 습식 전사한다.
- [0376] 한편, 무필터 양측 다수 캐리어 유형 컬러 광센서의 제조 방법은 전사하기 위한 그래핀을 형성하는데, 구리(Cu) 호일을 $5\text{cm} \times 10\text{cm}$ 크기로 자르고, 구리 시트는 CVD 챔버의 반응 영역 중앙에 위치시키며, CVD 챔버가 원하는 진공 상태가 안정화된 후 Ar 가스와 H_2 가스를 각각 100sccm 및 50sccm의 유량으로 유입한다.
- [0377] Ar 가스는 낮은 반응성으로 인해 캐리어 가스로 사용되었고, H_2 가스는 Cu 호일의 표면 오염을 제거하기 위해 사용되었고, 2종류의 가스가 유입되어 온도를 1000°C 로 설정되었다.
- [0378] 반응기를 실온에서 30분 이내에 1000°C 까지 가열하였고, 1000°C 에서 구리 호일은 2시간의 안정화를 거쳤고, 이때 H_2 는 산화를 제거한다는 의미에서 개선되었다.
- [0379] 안정화 시간 후, Ar 및 H_2 의 유입을 유지하면서 CH_4 가스를 5 sccm의 유속으로 5분간 가한다.
- [0380] CH_4 가스의 유입은 Cu 호일 표면에 단층 그래핀의 제조에 기여하고, CH_4 가스 유입 5분 후, CH_4 , Ar, H_2 의 모든 가스 유입을 중단하고 온도를 상온으로 설정한다.
- [0381] 온도가 실온에 가까워지면 Cu 호일이 챔버에서 제거되고, 그런 다음 Cu 호일의 윗면을 PMMA(Polymethylmethacrylate) 용액으로 스핀 코팅한다.
- [0382] 이 PMMA 용액 PMMA는 아세톤에 40g L^{-1} 용해되어 그래핀의 취급 및 보호를 가능하게 하는 층을 형성하여, 그래핀층을 형성하기 위한 그래핀을 준비한다.
- [0383] 그래핀 층은 습식 전사에 의해 장착되었기 때문에 90°C 로 설정된 핫플레이트에서 1시간 동안 어닐링 과정을 거치고, 아세톤으로 행구어서 그래핀의 PMMA 오버레이가 제거된다.
- [0384] 또한, 추가적으로 측정을 위해 백금(Au) 와이어 또는 은(Ag) 와이어가 금속 전극에 부착될 수 있다.
- [0385] 따라서, 본 발명은 삽입층(insertion layer)에 의한 표면 패시베이션(passivation)과 접합 영역과 공백 영역에 의한 서로 다른 인터페이스와 얇은 두께의 디바이스층에 기반하여 높은 반응성과 식별 가능한 파장 의존성을 갖는 무필터 양측 다수 캐리어 유형 컬러 광센서를 제공할 수 있다.
- [0387] 도 14는 본 발명의 일실시예에 따른 무필터 양측 다수 캐리어 유형 컬러 광센서의 회로도도를 설명하는 도면이다.
- [0388] 도 14는 본 발명의 일실시예에 따른 무필터 양측 다수 캐리어 유형 컬러 광센서의 회로도도를 예시한다.
- [0389] 도 14를 참고하면, 본 발명의 일실시예에 따른 무필터 양측 다수 캐리어 유형 컬러 광센서의 회로도(1400)는 제1 접합 영역에 해당하는 제1 다이오드(1401), 제2 접합 영역에 해당하는 제2 다이오드(1402)공백 영역에 해당하는 저항(1403)으로 구성될 수 있다.
- [0390] 즉, 무필터 양측 다수 캐리어 유형 컬러 광센서의 회로도(1400)는 컬러 필터 없이도 입사광의 컬러를 구분하는 포토다이오드로 구성됨을 예시한다.
- [0391] 또한, 제1 다이오드(1401) 및 제2 다이오드(1402)는 BTB 쇼트키 다이오드임을 확인할 수 있다.
- [0392] 제1 다이오드(1401) 및 제2 다이오드(1402)는 인가되는 바이어스 전압에 따라 순방향 및 역방향 바이어스로 동작될 수 있다.

- [0394] 도 15는 본 발명의 일실시예에 따른 무필터 양측 다수 캐리어 유형 컬러 광센서의 측정 실험 환경을 설명하는 도면이다.
- [0395] 도 15는 본 발명의 일실시예에 따른 무필터 양측 다수 캐리어 유형 컬러 광센서의 측정 실험 환경을 예시한다.
- [0396] 도 15를 참고하면, 본 발명의 일실시예에 따른 측정 실험 환경(1500)은 무필터 양측 다수 캐리어 유형 컬러 광센서(1501)에 RGB 컬러를 구분하여 조사(irradiate)하는 LED(1506), LED(1506)로부터 방출되는 광을 필터링하는 중성 밀도 필터(1505), LED(1506)의 광이 조사되는 영역을 선택하기 위한 마스크(1504)으로 구성된다.
- [0397] 무필터 양측 다수 캐리어 유형 컬러 광센서(1501)는 제1 집합 영역(1502) 및 제2 집합 영역(1503)을 포함하고, 제1 집합 영역(1502) 및 제2 집합 영역(1503) 사이에 공백 영역이 존재한다.
- [0398] 본 발명의 일실시예에 따른 측정 실험 환경(1500)은 LED(1506)의 광이 제2 집합 영역(1503)에 선택적으로 조사되는 경우를 예시한다.
- [0399] 제1 집합 영역과 제2 집합 영역을 한 번에 각각 역 바이어스 하에 두도록 바이어스를 0에서 5V로 2개의 다른 방향으로 스위칭하는 실험이 진행 가능고, 암전류는 블랙박스에서 빛 없이 측정된다.
- [0400] 무필터 양측 다수 캐리어 유형 컬러 광센서(1501)의 광 응답을 측정하기 위해 적색, 녹색 및 청색광에 해당하는 625nm, 530nm, 455nm의 세 가지 LED 파장을 LED(1506)를 통해 조사할 수 있다.
- [0401] 중성 밀도 필터(1505)는 사용하여 LED(1506)의 광출력 밀도를 $1.0 \times 10^{\ln} \text{W/mm}^2$ (측정: Thorlabs PM100D)로 낮출 수 있다.
- [0402] 예를 들어, 하나의 집합 영역에만 조명이 도달하도록 하기 위해 중성 밀도 필터(1505)와 집합 영역 사이에 1mm^2 크기의 조리개가 마스크(1504)로 장착될 수 있다.
- [0404] 도 16은 본 발명의 일실시예에 따른 무필터 양측 다수 캐리어 유형 컬러 광센서의 정규화된 시간에 기반한 광 응답 특성을 설명하는 도면이다.
- [0405] 도 16은 본 발명의 일실시예에 따라 무필터 양측 다수 캐리어 유형 컬러 광센서의 서로 다른 세가지 파장에 대한 응답 시간과 관련된 실험 데이터를 예시한다.
- [0406] 도 16을 참고하면, 그래프(1600)는 세 가지 다른 파장(빨간색: 625nm, 녹색: 530nm, 파란색: 455nm)의 가시광 조명에 대해 장치의 응답 시간은 하강 시간에 대해 0.3ms ~ 0.5ms로 나타나는 반면 상승 시간은 떨어지는 시간보다 빠른 것을 나타낸다.
- [0407] 조명된 빛의 파장에 대한 응답 시간의 뚜렷한 의존성은 없는데, 이는 응답 시간이 길이가 2mm인 갭 채널 영역을 통한 캐리어의 이동 시간에 크게 의존한다는 사실에 기인한다.
- [0408] 응답 시간은 직렬로 무필터 양측 다수 캐리어 유형 컬러 광센서에 연결된 10kOhm 저항을 사용하여 측정될 수 있다.
- [0409] 오실로스코프를 저항에 병렬로 연결하여 접합부가 사각 광 펄스로 조명될 때 무필터 양측 다수 캐리어 유형 컬러 광센서 내의 전류 변화로 인한 저항 양단의 전압 응답을 감지한다.
- [0410] 무필터 양측 다수 캐리어 유형 컬러 광센서 및 저항기는 DC 5V에 인가되고 LED의 주파수는 함수 발생기에 의해 구동되는 구형 펄스에서 100Hz이고, 조리개 면적은 다음과 같이 1mm^2 일 수 있으며, 응답 시퀀스는 제2 집합 영역에서 발생되었다.
- [0411] 커플링으로 인한 SBH 저하 덕분에 역 바이어스 접합(제1 집합 영역)의 그래핀 전극에서 주입된 정공과 과잉 광 생성 다수 캐리어(정공)가 공백 영역을 통해 순방향 바이어스 반대 접합(제2 집합 영역) 영역으로 이동될 수 있다.
- [0412] 채널 간격 거리가 2mm인 무필터 양측 다수 캐리어 유형 컬러 광센서의 관찰된 응답 속도는 ~ 0.3msec이며, 이는 이전 연구에서 관찰된 것보다 길 수 있다.
- [0413] 이것은 수직 접합 깊이(~ μm)에 비해 접합 사이의 상대적으로 긴 갭 채널과 갭 채널 영역의 낮은 작용 바이어

스 전압에 기인하며, 이는 이전 섹션에 표시된 접합에서 큰 바이어스 전압 손실에 기인할 수 있다.

[0414] 결과적으로 캐리어의 운송 속도는 상대적으로 낮고 상대적으로 운송 시간이 길어짐에 따라 채널 길이가 감소할수록 더 높은 작용 전압, 더 높은 이동성 및 더 짧은 통과 시간으로 인해 응답 속도가 빨라지는 것을 나타낼 수 있다.

[0416] 이상과 같이 실시예들이 비록 한정된 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, 영역, 장치, 회로 등의 구성요소들이 설명된 방법과 다른 형태로 결합 또는 조합되거나, 다른 구성요소 또는 균등물에 의하여 대치되거나 치환되더라도 적절한 결과가 달성될 수 있다.

[0417] 그러므로, 다른 구현들, 다른 실시예들 및 특허청구범위와 균등한 것들도 후술하는 특허청구범위의 범위에 속한다.

부호의 설명

[0418] 100: 무필터 양측 다수 캐리어 유형 컬러 광센서

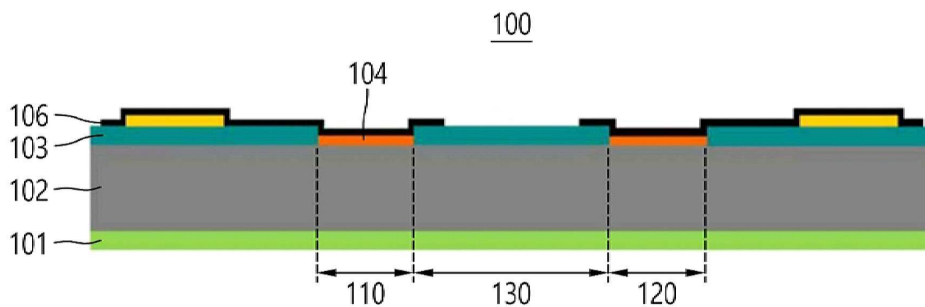
101: BOX(buried oxide) 층 102: 디바이스층

103: 표면 처리 산화물층 104: 삽입층

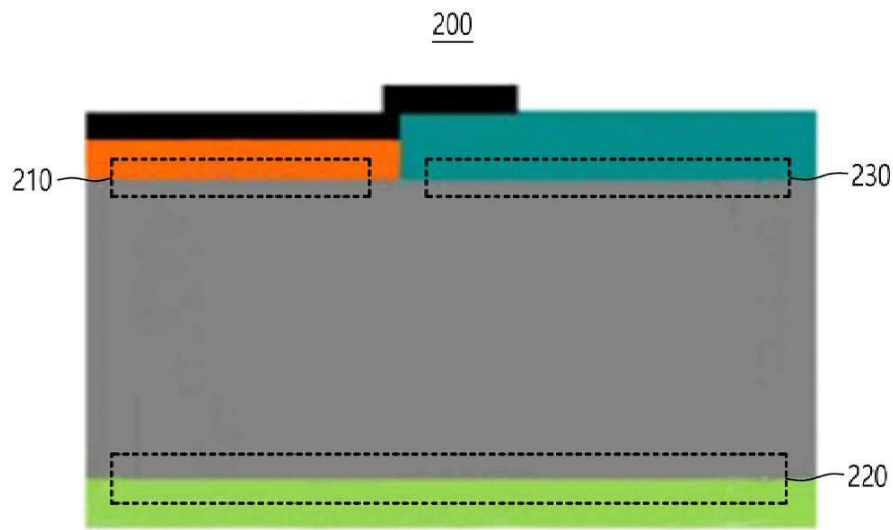
105: 전극 106:그래핀층

도면

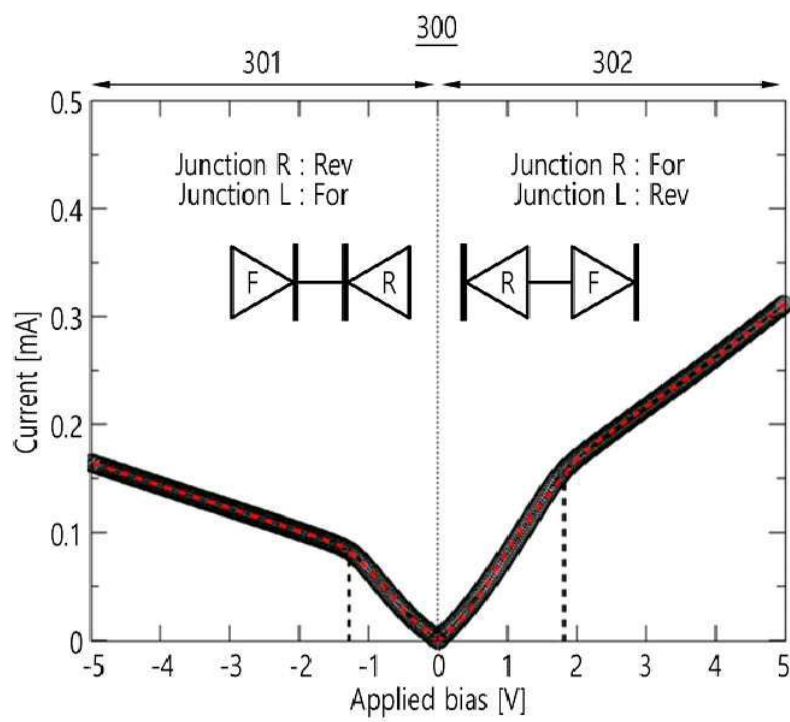
도면1



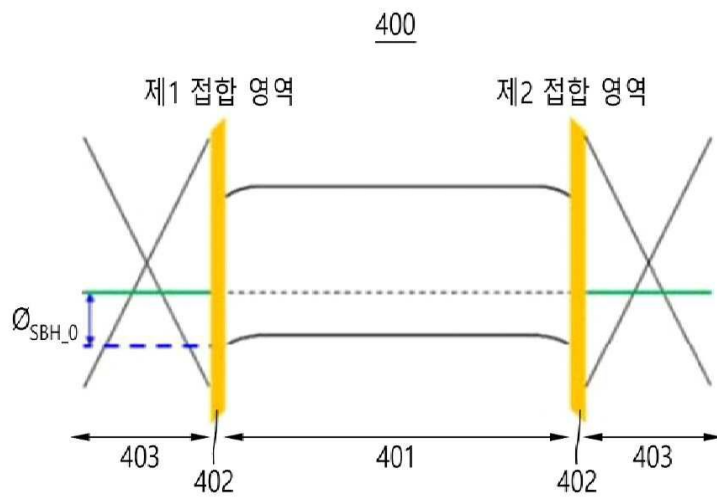
도면2



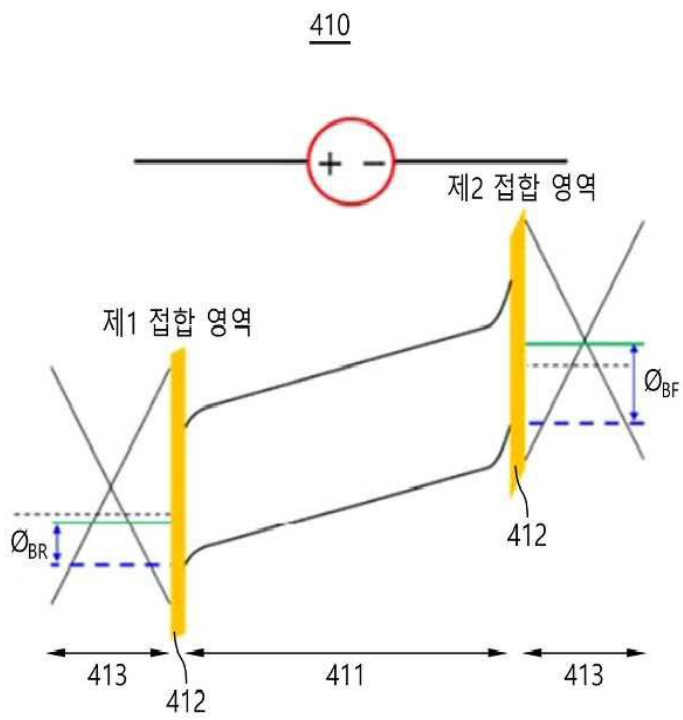
도면3



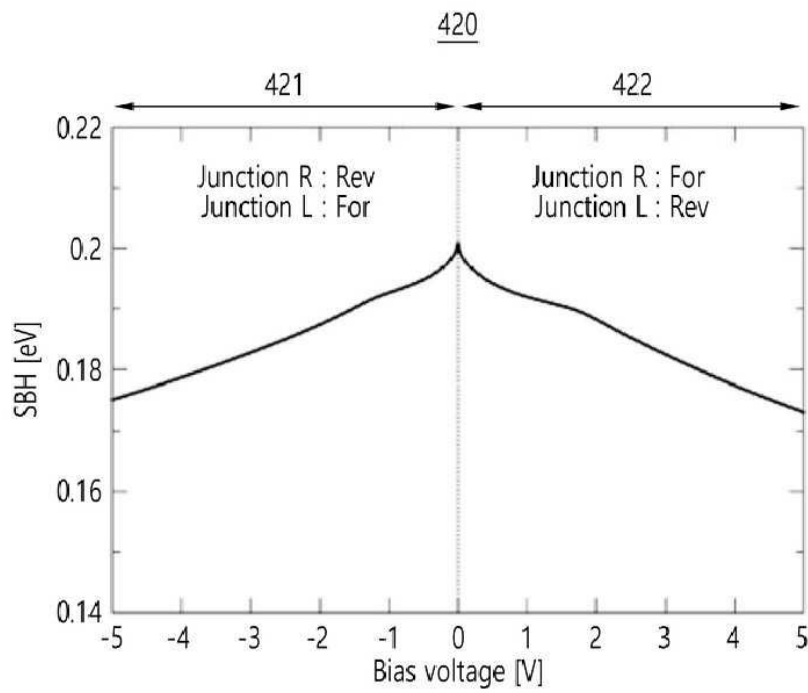
도면4a



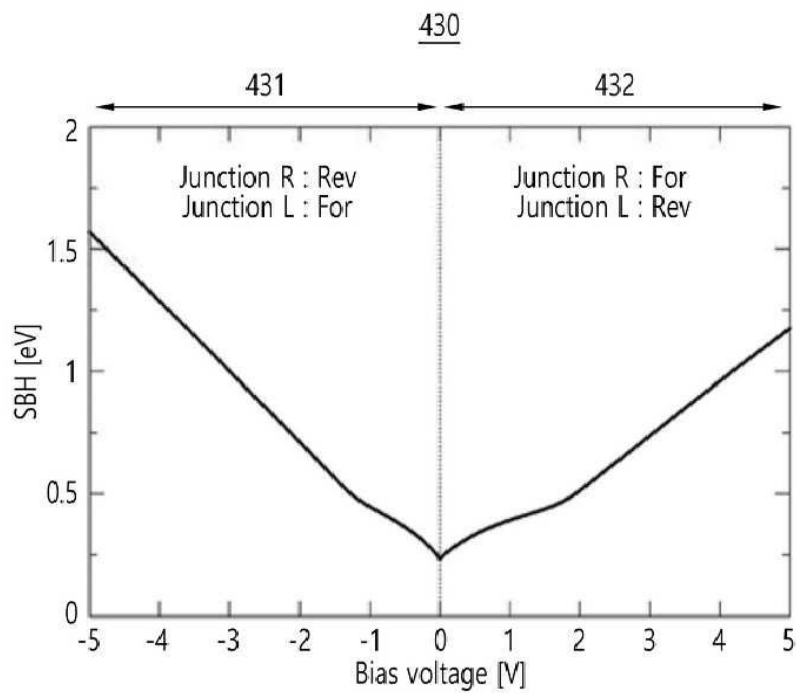
도면4b



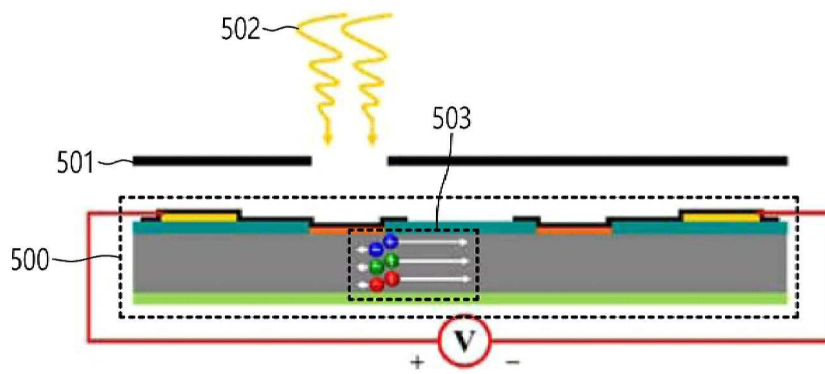
도면4c



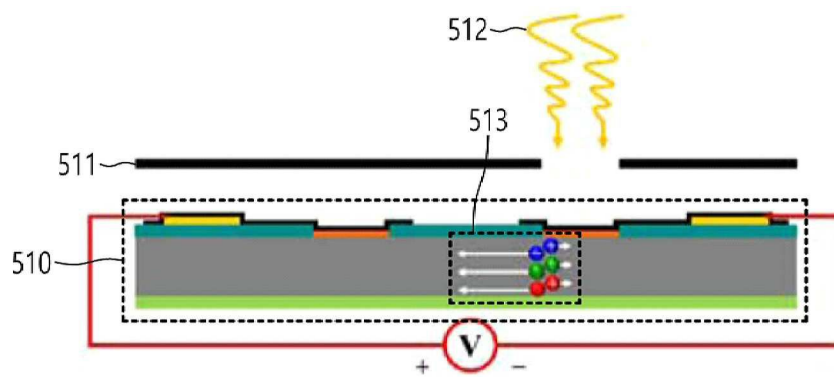
도면4d



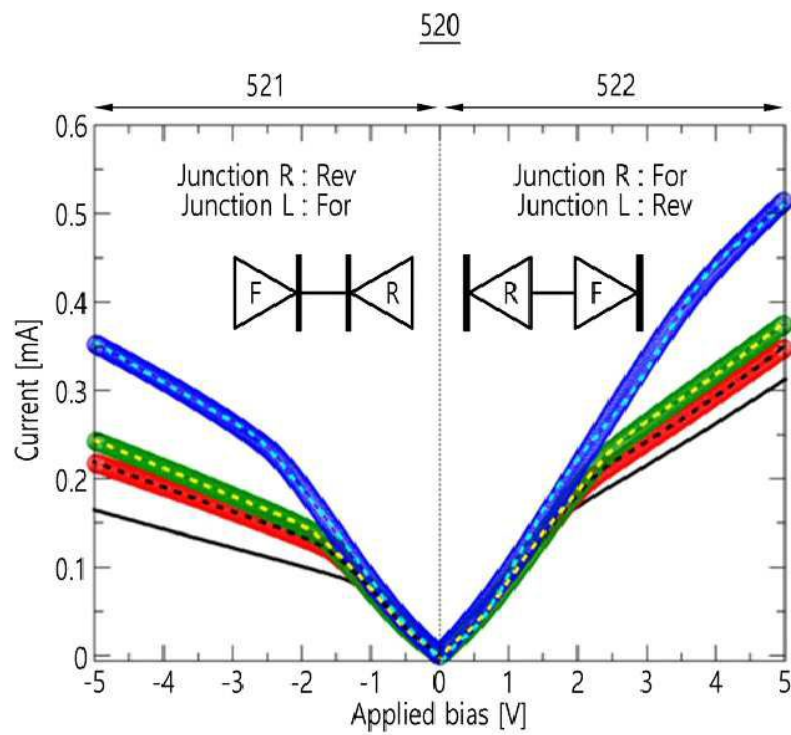
도면5a



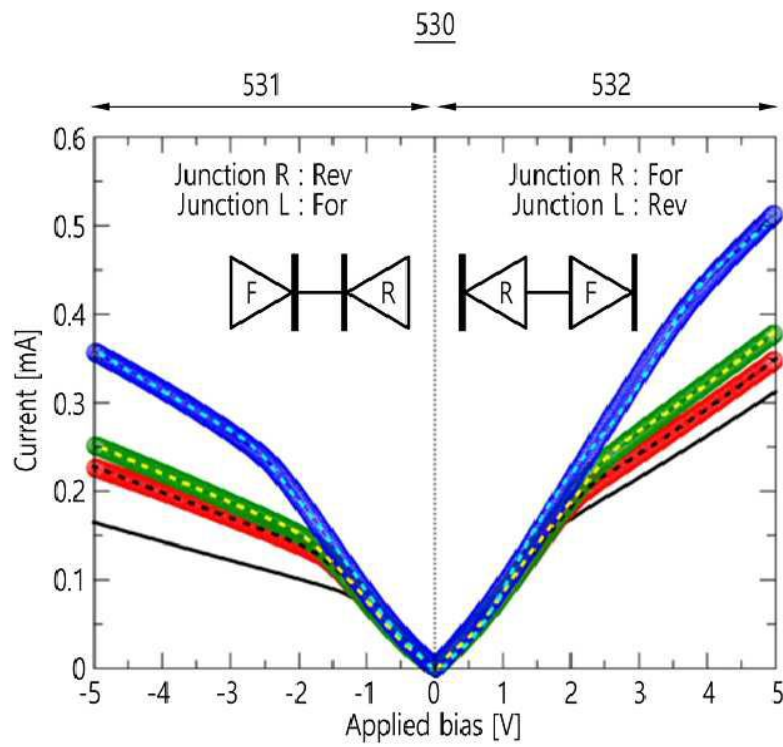
도면5b



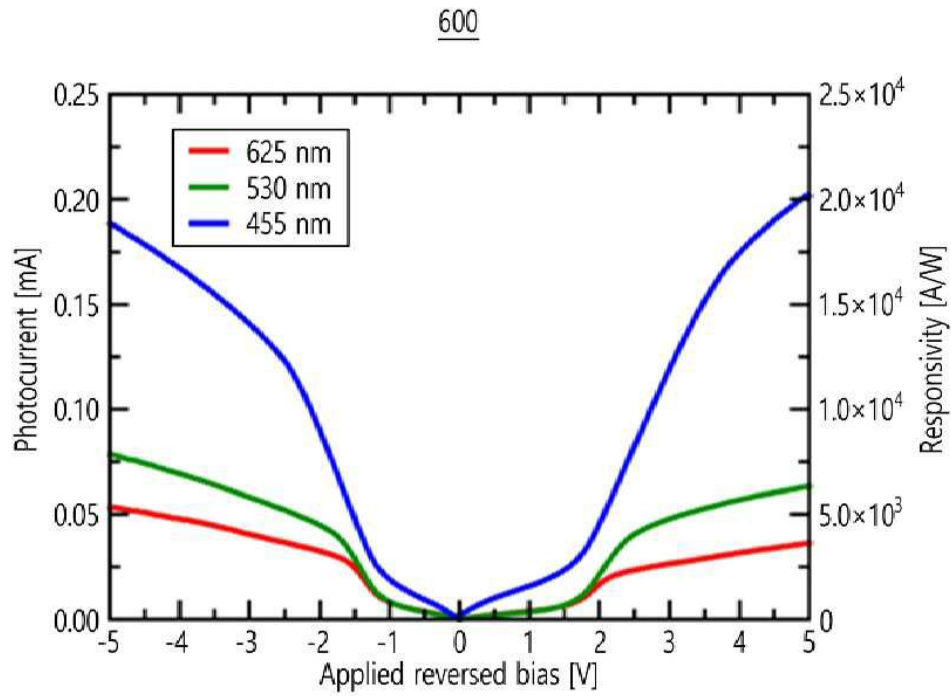
도면5c



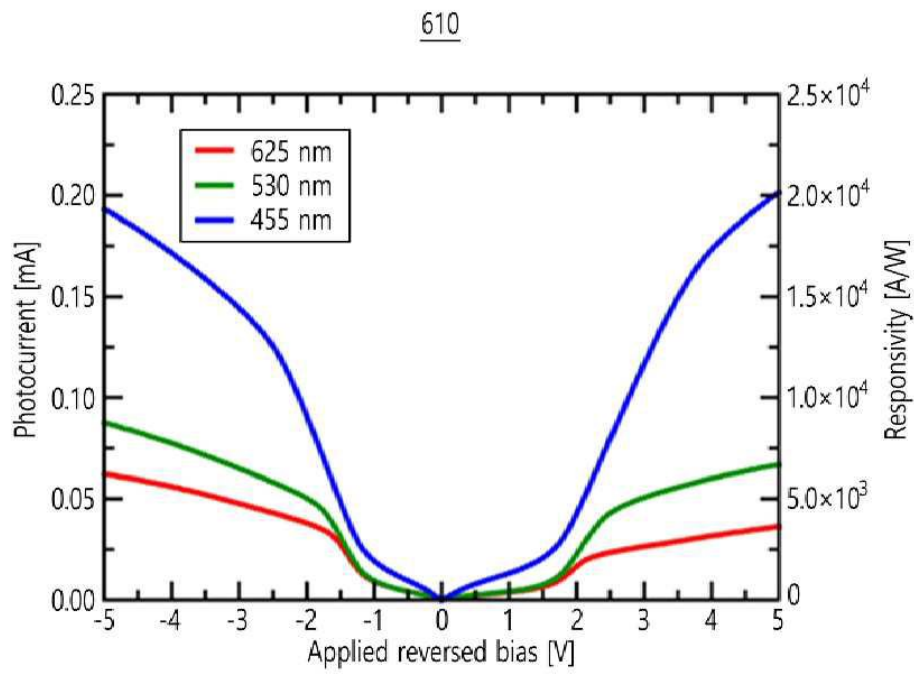
도면5d



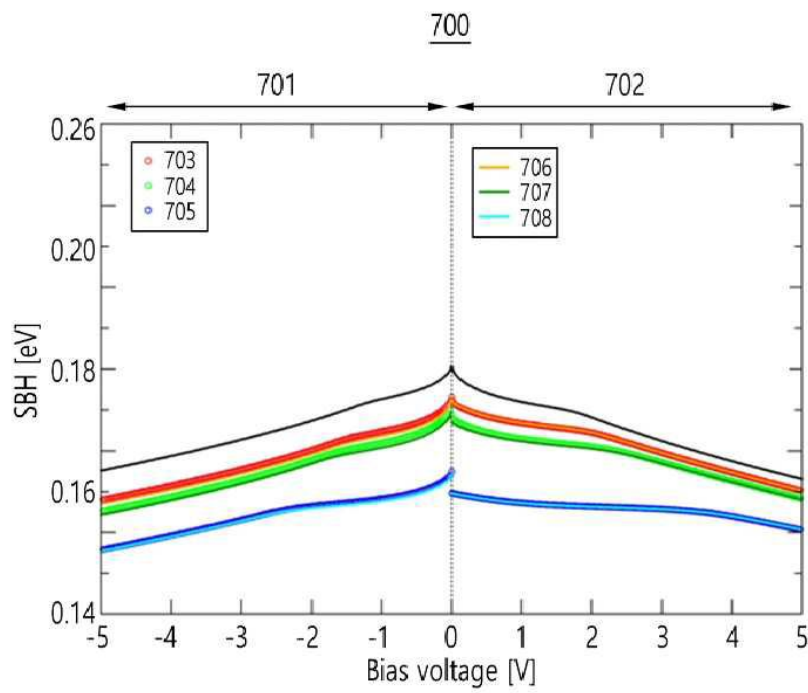
도면6a



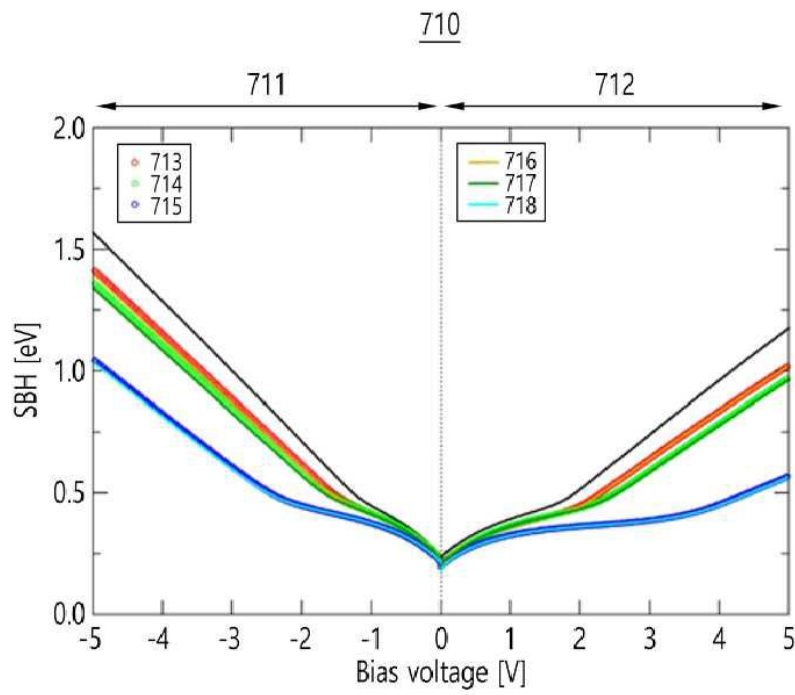
도면6b



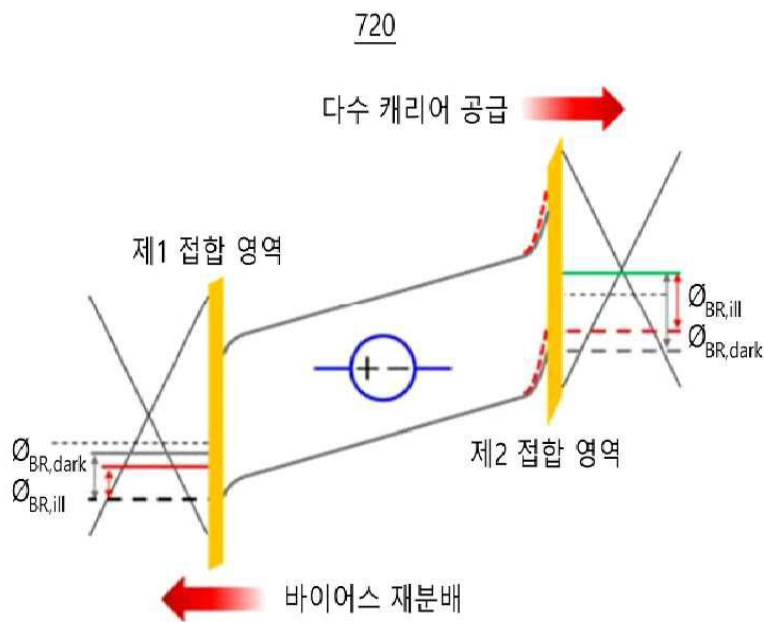
도면7a



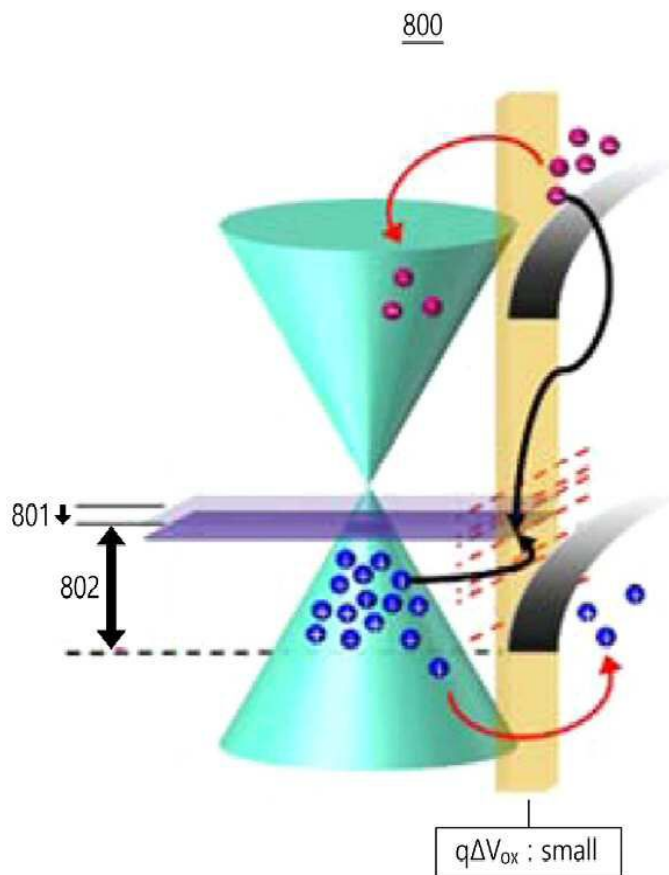
도면7b



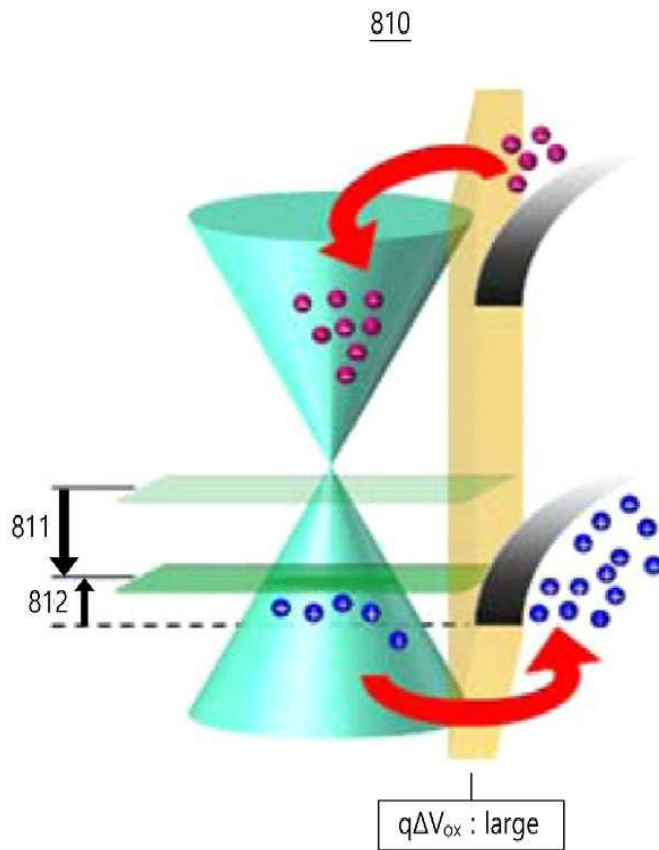
도면7c



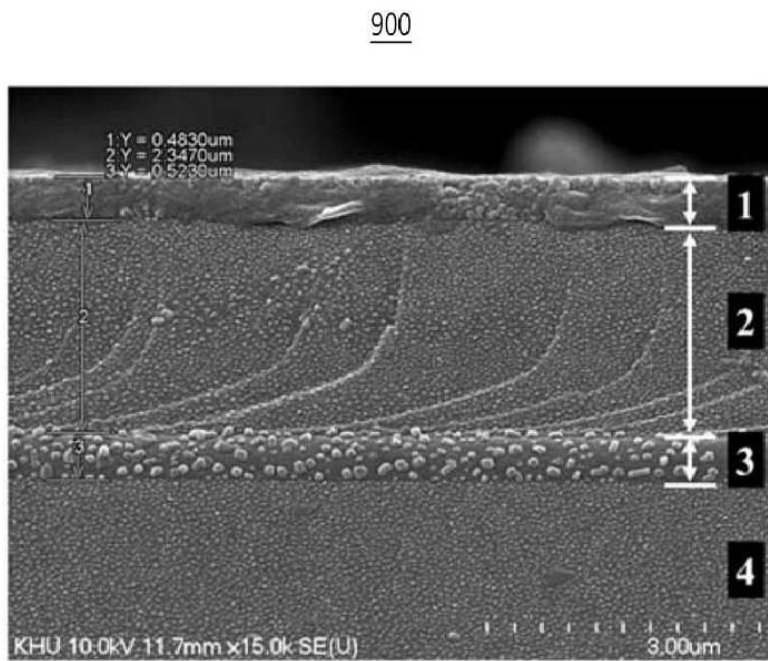
도면 8a



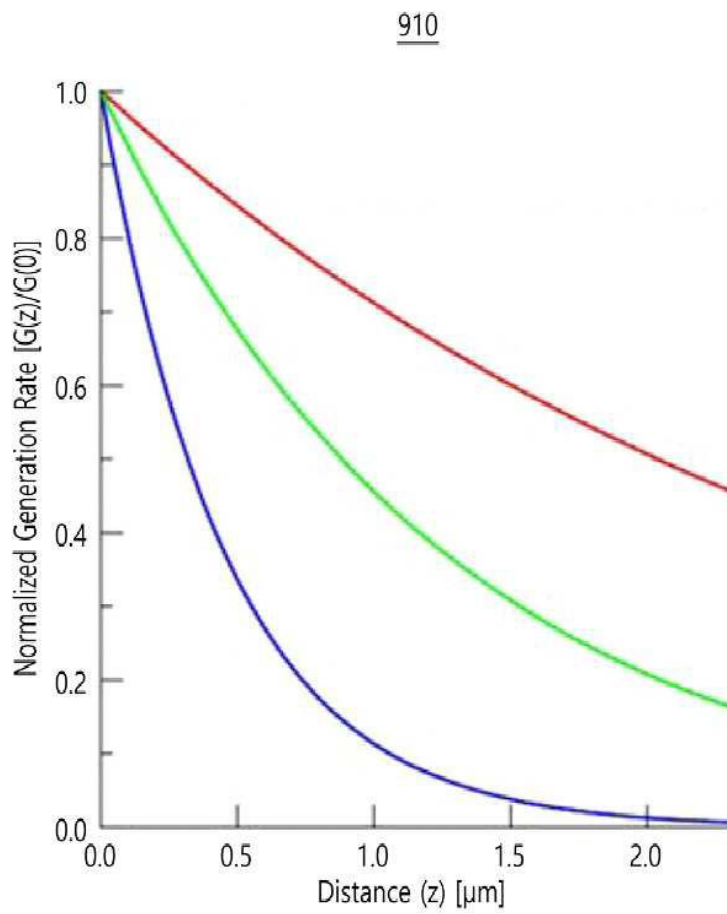
도면8b



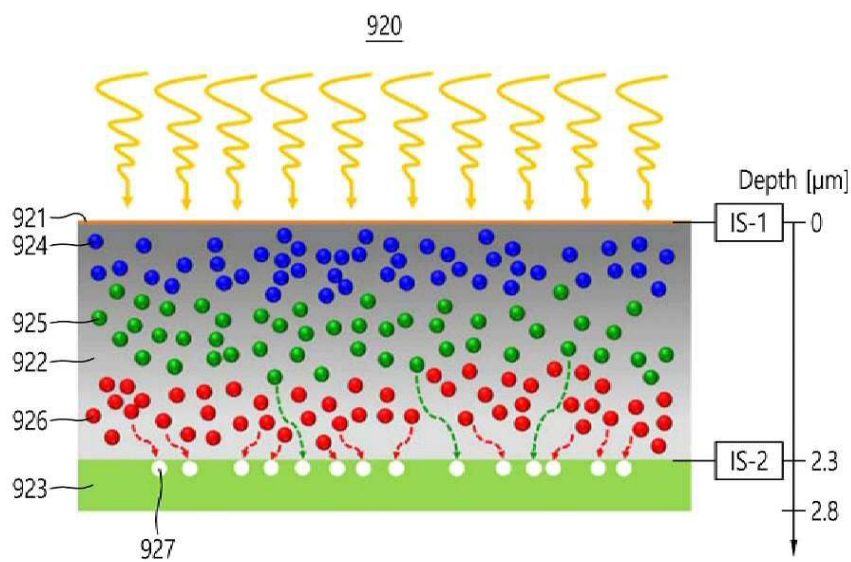
도면9a



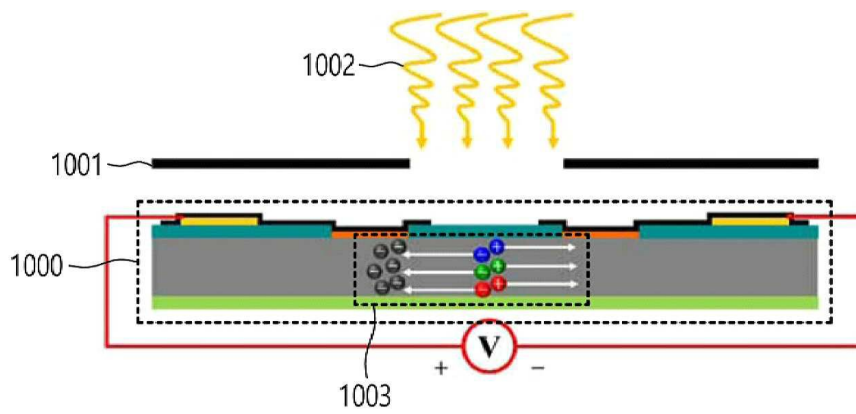
도면9b



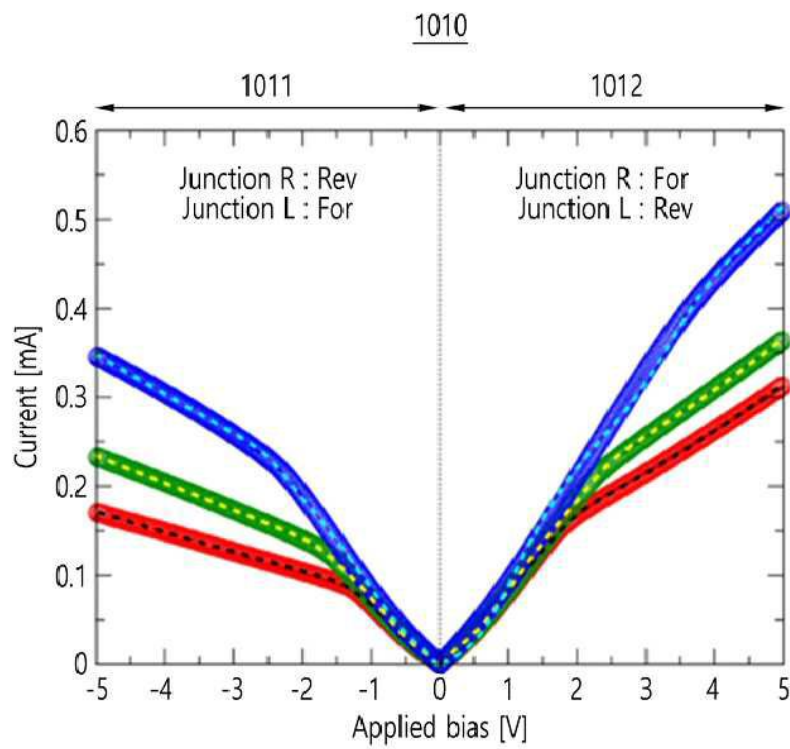
도면9c



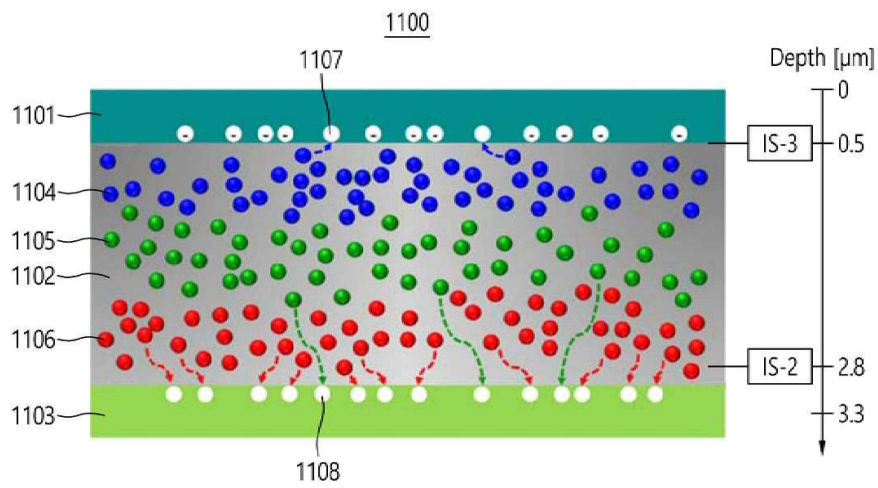
도면10a



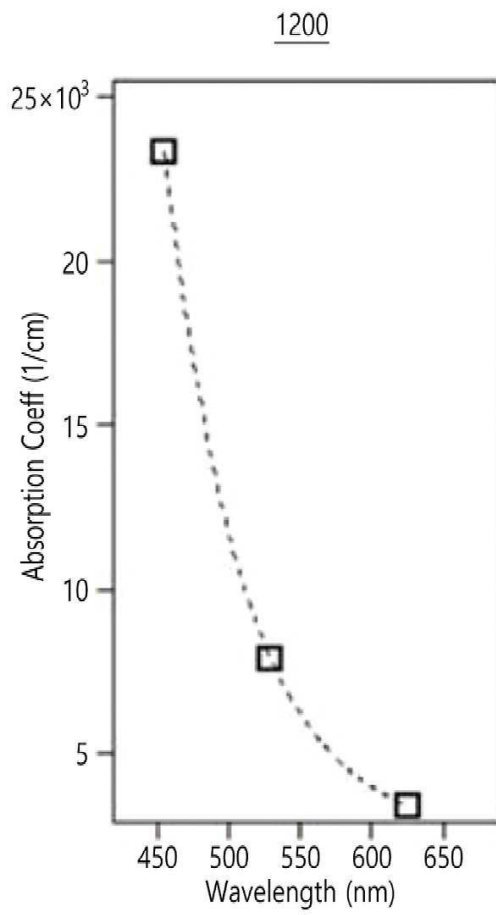
도면10b



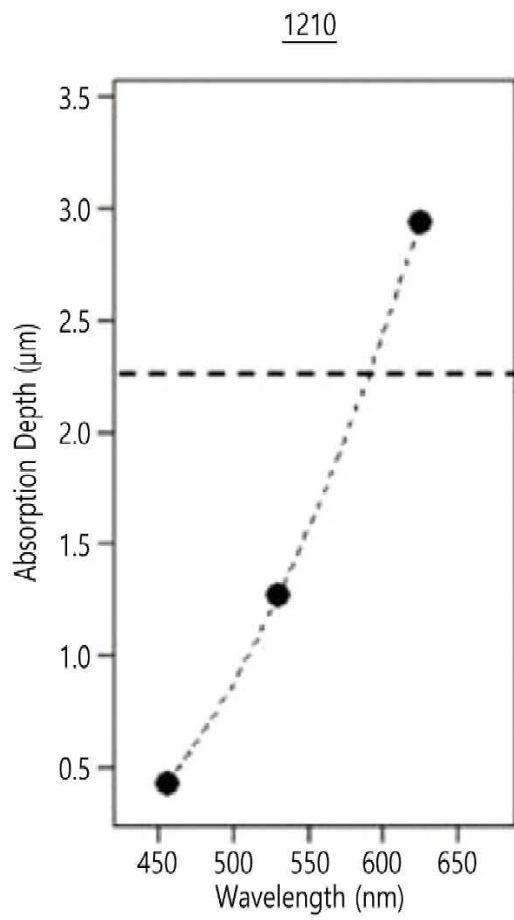
도면11



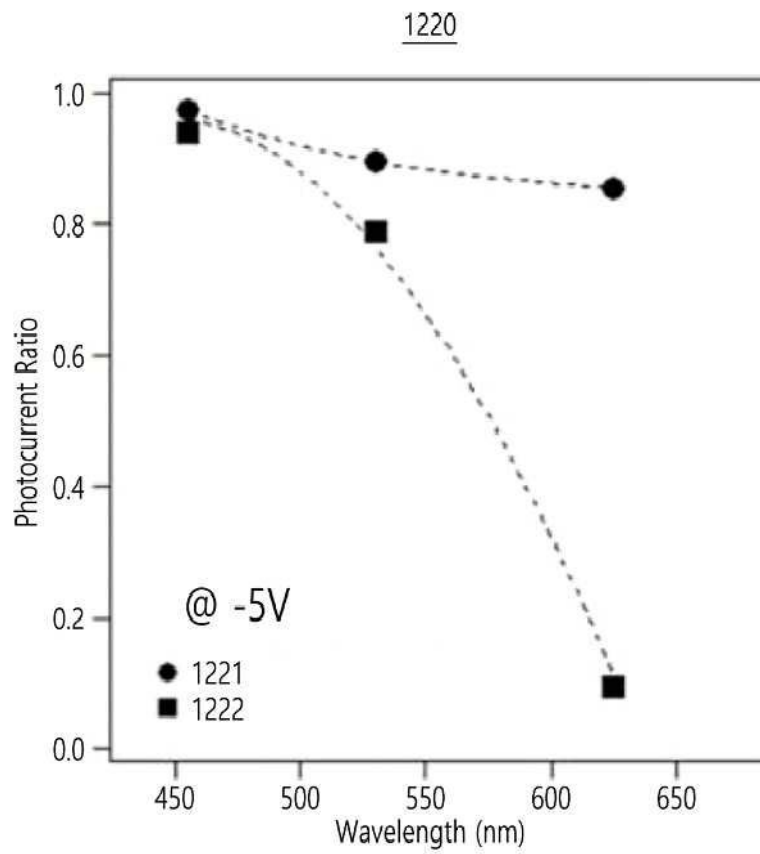
도면12a



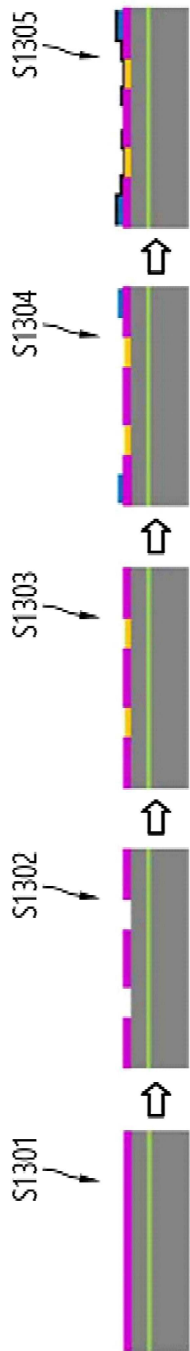
도면12b



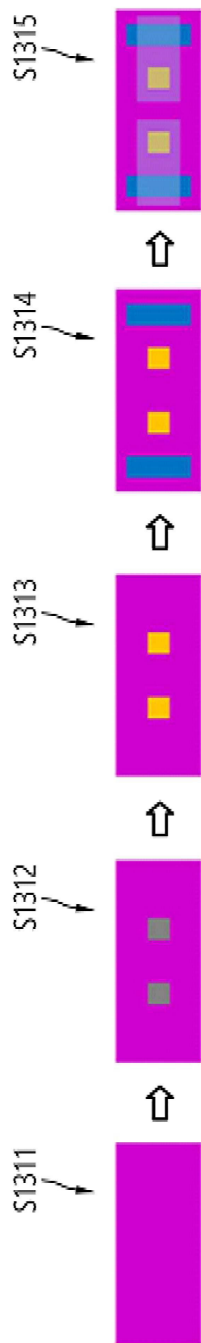
도면12c



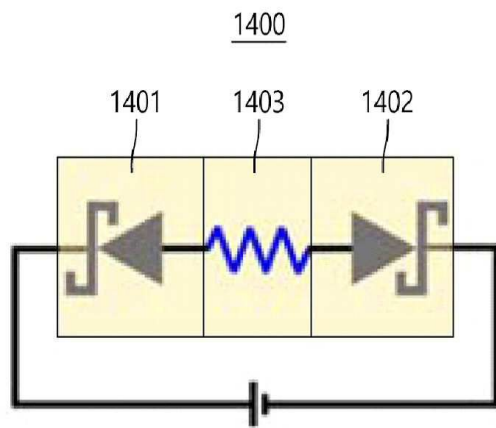
도면13a



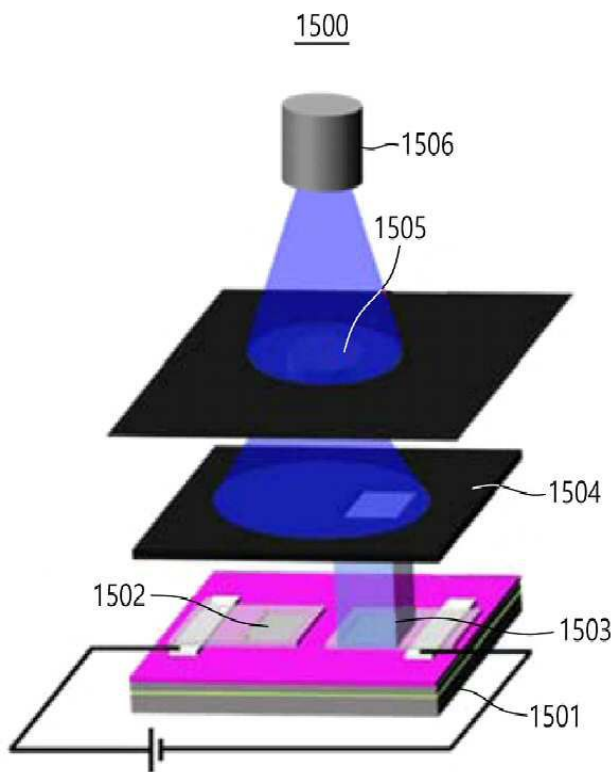
도면13b



도면14



도면15



도면16

