

(11) 공개번호 10-2023-0161696
(43) 공개일자 2023년11월28일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
H01L 31/0216 (2014.01) *H01L 31/105* (2006.01)
H01L 31/18 (2006.01)

(52) CPC특허분류
H01L 31/02162 (2013.01)
H01L 31/105 (2013.01)

(21) 출원번호 10-2022-0061364

(22) 출원일자 2022년05월19일
 심사청구일자 2022년05월19일

(71) 출원인
 고려대학교 산학협력단
 서울특별시 성북구 안암로 145, 고려대학교 (안암동5가)

(72) 발명자
 김수진
 서울특별시 성북구 정릉로 404, 106동 613호(돈암동, 돈암현대아파트)

박규환
 서울특별시 강남구 학동로68길 30, 102동 804호
 (뒷면에 계속)

(74) 대리인
 송인호, 윤형근, 최관락

전체 청구항 수 : 총 7 항

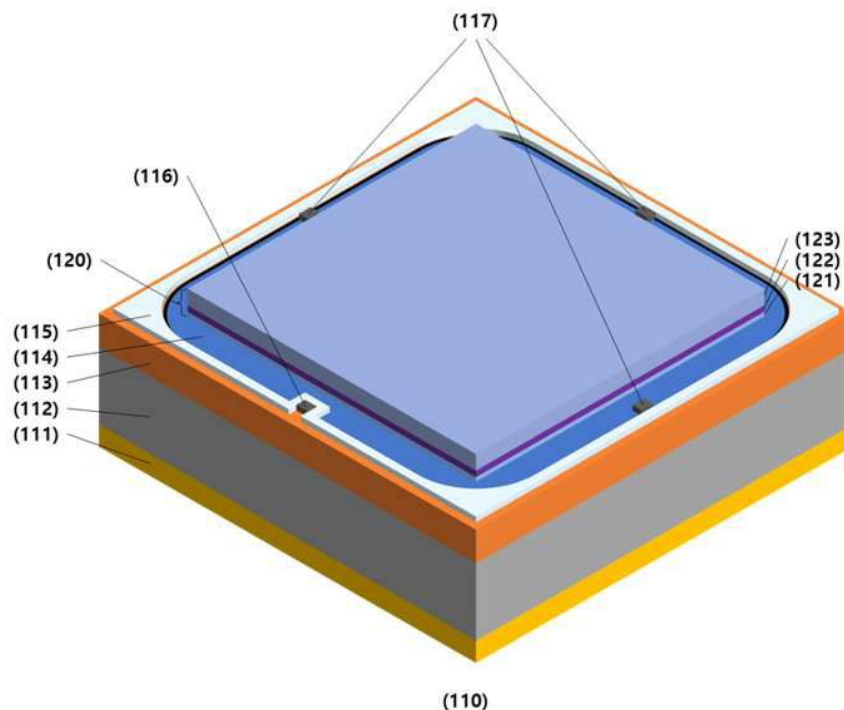
(54) 발명의 명칭 **가시광선 및 근적외선의 파장대역에서 입사각도 및 편광상태에 관계없이 반사를 방지하는 무 반사막, 무반사막 실리콘 광 검출기 및 이의 제조 방법**

(57) 요약

본 발명은 가시광선 및 근적외선의 파장대역에서 입사각도 및 편광상태에 관계없이 반사를 방지하는 무반사막, 무반사막 실리콘 광 검출기 및 이의 제조 방법을 개시한다. 본 발명에 따르면, PIN 접합을 통해 빛의 입사에 상응하는 광 전류를 발생시키는 실리콘 광 검출기로서, 금속층; 상기 금속층 상에 위치하며 고유한 결정질 실리콘

(뒷면에 계속)

대표도 - 도1



으로 이루어진 진성 반도체층; 상기 진성 반도체층 상에 위치하며 n-type으로 도핑된 실리콘으로 이루어진 N형 반도체층; 상기 진성 반도체층 상에 위치하며 p-type으로 도핑된 실리콘으로 이루어진 P형 반도체층; 상기 N형 반도체층 상에 위치하는 음극; 상기 P형 반도체층 상에 위치하는 양극; 및 상기 P형 반도체층 상에 위치하는 무반사막을 포함하되, 상기 무반사막은, 상기 P형 반도체층 상에 위치하며 SiO_2 로 형성되는 제1 층, 상기 제1 층과 소정 거리만큼 이격되어 SiO_2 로 형성되는 제2 층, 상기 제1 층과 제2 층 사이에 배치되며 TiO_2 로 형성되는 이격층을 포함하고, 상기 무반사막은 상기 제1 층 및 제2 층이 상기 이격층과 함께 구조적 이중층을 이루어 메타물질로 형성되고, 입사된 빛에 대한 전자기파 반응의 비국소성(nonlocality)을 활용하여 상기 입사된 빛의 주파수 및 입사각도에 따라 유효굴절률(effective refractive index)이 변하는 시공간분산(spatiotemporal dispersion)을 구현하는 무반사막 실리콘 광 검출기가 제공된다.

(52) CPC특허분류

H01L 31/18 (2021.01)

(72) 발명자

정현진

충청남도 천안시 서북구 불당24로 38, 106동 1203호(불당동, 지웰푸르지오)

임 구

서울특별시 서초구 신반포로45길 71, 101동 402호
(잠원동, 잠원동월드메르디앙)

명세서

청구범위

청구항 1

PIN 접합을 통해 빛의 입사에 상응하는 광 전류를 발생시키는 실리콘 광 검출기로서,
금속층;

상기 금속층 상에 위치하며 고유한 결정질 실리콘으로 이루어진 진성 반도체층;

상기 진성 반도체층 상에 위치하며 n-type으로 도핑된 실리콘으로 이루어진 N형 반도체층;

상기 진성 반도체층 상에 위치하며 p-type으로 도핑된 실리콘으로 이루어진 P형 반도체층;

상기 N형 반도체층 상에 위치하는 음극;

상기 P형 반도체층 상에 위치하는 양극; 및

상기 P형 반도체층 상에 위치하는 무반사막을 포함하되,

상기 무반사막은 상기 제1 층 및 제2 층이 상기 이격층과 함께 구조적 이중층을 이루어 메타물질로 형성되고,
상기 P형 반도체층 상에 위치하며 SiO_2 로 형성되는 제1 층, 상기 제1 층과 소정 거리만큼 이격되어 SiO_2 로 형성되는 제2 층, 상기 제1 층과 제2 층 사이에 배치되며 TiO_2 로 형성되는 이격층을 포함하고,

상기 무반사막은 메타물질로 이루어진 구조적 이중층으로 형성되고, 입사된 빛에 대한 전자기파 반응의 비국소성(nonlocality)을 활용하여 상기 입사된 빛의 주파수 및 입사각도에 따라 유효굴절률(effective refractive index)이 변하는 시공간분산(spatiotemporal dispersion)을 구현하는 무반사막 실리콘 광 검출기.

청구항 2

제1항에 있어서,

상기 제1층, 상기 제2층 및 상기 이격층의 총 두께는, 상기 입사된 빛의 파장보다 작은 두께를 가지며,

상기 제2 층은 상기 제1 층 두께의 7배 내지 9배의 두께로 형성되고, 상기 이격층은 제1 층 두께의 3배 내지 3.5배의 두께로 형성되는 무반사막 실리콘 광 검출기.

청구항 3

제2항에 있어서,

상기 이격층은 상기 입사된 빛의 중심 파장인 750nm의 0.04 내지 0.06배로 형성되는 무반사막 실리콘 광 검출기.

청구항 4

제1항에 있어서,

상기 제1 층, 상기 제2 층 및 상기 이격층은 스퍼터링 공정을 통해 형성되는 무반사막 실리콘 광 검출기.

청구항 5

SiO_2 로 형성되는 제1 층;

상기 제1 층과 소정 거리만큼 이격되어 SiO_2 로 형성되는 제2 층; 및

상기 제1 층과 제2 층 사이에 배치되며 TiO_2 로 형성되는 이격층을 포함하되,

상기 제1 층 및 제2 층은 상기 이격층과 함께 구조적 이중층을 이루어 메타물질로 형성되고, 입사된 빛에 대한

전자기와 반응의 비국소성(nonlocality)을 활용하여 상기 입사된 빛의 주파수 및 입사각도에 따라 유효굴절률(effective refractive index)이 변하는 시공간분산(spatiotemporal dispersion)을 구현하는 무반사막.

청구항 6

제5항에 있어서,

상기 제1층, 상기 제2층 및 상기 이격층의 총 두께는, 상기 입사된 빛의 파장보다 작은 두께를 가지며,

상기 제2 층은 상기 제1 층 두께의 7배 내지 9배의 두께로 형성되고, 상기 이격층은 제1 층 두께의 3배 내지 3.5배의 두께로 형성되는 무반사막.

청구항 7

PIN 접합을 통해 빛의 입사에 상응하는 광 전류를 발생시키는 실리콘 광 검출기 제조 방법으로서,

금속층 상에 고유한 결정질 실리콘으로 이루어진 진성 반도체층을 형성하는 단계;

상기 진성 반도체층 상에 n-type으로 도핑된 실리콘으로 이루어진 N형 반도체층을 형성하는 단계;

상기 진성 반도체층 상에 p-type으로 도핑된 실리콘으로 이루어진 P형 반도체층을 형성하는 단계;

상기 N형 반도체층 및 P형 반도체층 상에 음극 및 양극을 구성하는 금속패드를 형성하는 단계; 및

스퍼터를 이용하여 상기 P형 반도체층 상에 무반사막을 형성하는 단계를 포함하되,

상기 무반사막은, 상기 P형 반도체층 상에 위치하며 SiO_2 로 형성되는 제1 층, 상기 제1 층과 소정 거리만큼 이격되어 SiO_2 로 형성되는 제2 층, 상기 제1 층과 제2 층 사이에 배치되며 TiO_2 로 형성되는 이격층을 포함하고,

상기 무반사막은 상기 제1 층 및 제2 층이 상기 이격층과 함께 구조적 이중층을 이루어 메타물질로 형성되고, 입사된 빛에 대한 전자기와 반응의 비국소성(nonlocality)을 활용하여 상기 입사된 빛의 주파수 및 입사각도에 따라 유효굴절률(effective refractive index)이 변하는 시공간분산(spatiotemporal dispersion)을 구현하는 무반사막 실리콘 광 검출기 제조 방법.

발명의 설명

기술 분야

[0001] 본 발명은 가시광선 및 근적외선의 파장대역에서 입사각도 및 편광상태에 관계없이 반사를 방지하는 무반사막, 무반사막 실리콘 광 검출기 및 이의 제조 방법에 관한 것이다.

배경 기술

[0002] 광 검출기(photodetector) 개발은 CIS, IoT 센서, 자율주행 센서, 태양광 센서, 산업용 로봇 등의 다양한 IT 산업 분야 및 광범위한 반도체 산업에서 많은 주목을 받고 있고, 많은 미래 산업 기술 분야에 핵심 부품으로 활용될 수 있다.

[0003] 특히, 이미지 센서의 최대 시장인 스마트폰 시장이 꾸준히 성장하고, 자동차 및 산업용 수요도 지속해서 증가하여 향후 시장 확대가 예상된다.

[0004] 광 검출기는 전자소자가 빛에 따라 전기특성이 변하는 특성을 활용하는 장치로서, 소자의 수광부에 빛을 입사시켰을 때 내부에서 빛 에너지를 흡수하여 전기에너지로 변환하는 기능을 가진다. 여기서 광 흡수란, 빛에 의해 전자를 에너지 갭 이상의 상태로 여기하는 것인데, 반사로 인한 손실 없이 빛을 제어하는 광 검출기의 필요성이 대두되고 있다.

[0005] 일반적으로 광 검출기는 기판 위에 PIN 접합을 만들고 접합계면에 빛을 입사시키면 광자 에너지를 흡수한 반송자를 생성한다. 이 반송자의 흐름이 전류를 발생시키고 외부회로와 상호작용에 의해 광 신호에 상응하는 전기적 신호인 광 전류가 발생한다.

[0006] 생성된 광 전류를 측정하기 위해 회로기판과 금속패드를 연결하는 와이어본딩(wire bonding)을 진행한다.

- [0007] 구체적으로 설명하면, 반도체 광 검출기는 입사하는 빛의 광자 에너지가 반도체의 밴드갭(band gap) 에너지보다 크면 소자 내에서 광 흡수가 일어나 전자-정공쌍(electron-hole pair)을 만든다. 여기서, 역 바이어스(reverse bias)된 PIN 접합부에서 빛을 받으면 광 전류가 증가한다. 이때의 광 전류는 역 바이어스 전압에 의존하는 것이 아닌 빛의 양에 의존한다. 생성된 전류는 와이어본딩을 통해 만들어진 도선을 통해 외부로 전달되며, 측정된 광 전류를 바탕으로 소자의 성능을 확인한다.
- [0008] 한편, 광 검출기는 소자의 상단부 또는 표면에 구성되는 물질의 종류에 따라 전자기적 특성이 다르기 때문에 적용되는 분야마다 물질이 다르다.
- [0009] 광 검출기는 일반적으로 CMOS 공정에 호환성이 좋은 실리콘(Silicon) 또는 질화규소(Si_3N_4)를 사용하여 제조하는데, 이는 센서 및 인공지능 분야에서는 각광을 받고 있는 물질이다.
- [0010] 실리콘 광 검출기는 입사각도 및 편광상태에 따라 반사가 제어되는 정도가 다르며, 빛의 파장을 변화시키면서 위 조건을 다르게 하여 빛을 입사하면 광 흡수율(absorption) 및 반응도(responsivity)가 떨어지는 성능 저하의 문제점이 발생한다.
- [0011] 일반적으로, 빛은 광학적 특성이 다른 두 물질 사이의 경계를 투과하여 진행할 경우, 임피던스(impedance) 또는 어드미턴스(admittance)의 부정합으로 인해 부분적으로 또는 완전히 반사될 수 있기에, 고성능의 광 검출기를 개발하기 위하여 광 검출기 수광부에 빛의 반사를 제어하는 무반사막을 설계하려는 노력이 지속적으로 이어져왔다.
- [0012] 대표적인 무반사 기술로, 1/4-파장 무반사막(quarter-wave anti-reflection coating), 다층 무반사막(multi-layer anti-reflection coating), 및 비균질 무반사막(inhomogeneous anti-reflection coating) 등이 광 검출기에 활용되어 왔다.
- [0013] 그러나, 질화규소를 활용하여 형성하는 1/4-파장 무반사막은 특정 파장대역에서만 반사가 제어되는 한계점을 가지고 있어, 광역 스펙트럼 범위의 고성능 광 검출기에 요구되는 임피던스 정합 및 공정 조건 등을 개선하는 것은 여전히 도전과제이다.
- [0014] 한편, 광역 스펙트럼 범위의 무반사를 이루기 위해 다층 무반사막 및 비균질 무반사막 등을 활용한 광 검출기가 개발되었지만, 여전히 입사각도 및 편광상태에 따라 낮은 흡수율을 보이고, 설계 조건하에서 광 반응도 등의 성능이 저하되는 등의 문제점이 있다.
- [0015] 또한, 다층 무반사막 및 비균질 무반사막은 무반사막의 두께가 파장대비 두꺼워지고 무반사막을 이루는 구조의 복잡성이 늘어나는 단점이 발생하여 제조 과정의 복잡성 및 비용 증가의 문제가 있다.
- [0016] 따라서, 고성능 광 검출기의 성능을 극대화시키기 위해, 파장대비 얇으면서도 입사하는 빛의 주파수, 입사각도, 및 편광상태에 무관하게 무반사를 이루는 무반사막이 형성된 실리콘 광 검출기의 설계 및 적용 기술이 제안될 필요성이 있다.
- [0017] 한편, 만능 임피던스 정합(Universal Impedance Matching; UIM) 이론에 따르면, 입사하는 빛의 주파수, 입사각도, 및 편광상태에 무관하게 빛의 반사를 차단하기 위해선, 빛의 주파수 및 입사각에 따라 달라지는 매질변수(material parameter)가 무반사막에 요구되고, 이는 매질의 유효 매질 변수(effective material parameter)가 시공간분산(spatio-temporal dispersion)을 갖는 물질로 구현할 수 있다.
- [0018] 보다 구체적으로는, 굴절률이 다른 두 개의 매질 층을 활용하여 파장보다 얇은 두께로 이격시키는 구조적 이중층(structural double layer)의 메타물질(metamaterial)을 설계하면 시공간분산을 구현할 수 있다.
- [0019] 즉, 파장보다 얇은 구조로 형성되는 메타물질의 유효 매질 변수는 입사된 빛에 따라 비국소적인(non-local) 전자기 반응을 통해 빛의 주파수 및 입사각도에 따라 유효굴절률(effective refractive index)이 변하는 시공간분산을 가질 수 있다.
- [0020] 따라서, 메타물질의 시공간분산을 활용하여 가시광선에서 근적외선까지 광대한 파장대역에서 입사각도와 편광상태에 관계없이 빛의 반사를 제어하는 UIM 무반사막을 형성할 수 있고, UIM 무반사막을 활용한 실리콘 광 검출기의 설계 및 구현 기술이 제안될 필요성이 있다.
- [0021] 동시에, 가시광선 및 근적외선 파장의 빛의 반사 제어가 가능한 광 검출기는 많은 미래 산업 기술 분야에 핵심 부품으로 활용될 수 있으므로, 장치의 성능 및 효율성을 증가시키는 기술이 제안될 필요성이 대두되고 있다.

선행기술문헌

특허문헌

[0022] (특허문헌 0001) KR 등록특허 10-2370709

발명의 내용

해결하려는 과제

[0023] 상기한 종래기술의 문제점을 해결하기 위해, 본 발명은 가시광선과 근적외선의 반사로 인한 에너지 손실을 입사각 변화와 편광상태에 관계없이 제어하여 에너지 전달성을 향상시킬 수 있는 가시광선 및 근적외선의 파장대역에서 입사각도 및 편광상태에 관계없이 반사를 방지하는 무반사막, 무반사막 실리콘 광 검출기 및 이의 제조 방법을 제안하고자 한다.

과제의 해결 수단

[0024] 상기한 바와 같은 목적을 달성하기 위하여, 본 발명의 일 실시예에 따르면, PIN 접합을 통해 빛의 입사에 상응하는 광 전류를 발생시키는 실리콘 광 검출기로서, 금속층; 상기 금속층 상에 위치하며 고유한 결정질 실리콘으로 이루어진 진성 반도체층; 상기 진성 반도체층 상에 위치하며 n-type으로 도핑된 실리콘으로 이루어진 N형 반도체층; 상기 진성 반도체층 상에 위치하며 p-type으로 도핑된 실리콘으로 이루어진 P형 반도체층; 상기 N형 반도체층 상에 위치하는 음극; 상기 P형 반도체층 상에 위치하는 양극; 및 상기 P형 반도체층 상에 위치하는 무반사막을 포함하되, 상기 무반사막은, 상기 P형 반도체층 상에 위치하며 SiO_2 로 형성되는 제1 층, 상기 제1 층과 소정 거리만큼 이격되어 SiO_2 로 형성되는 제2 층, 상기 제1 층과 제2 층 사이에 배치되며 TiO_2 로 형성되는 이격층을 포함하고, 상기 무반사막은 상기 제1 층 및 제2 층이 상기 이격층과 함께 구조적 이중층을 이루어 메타물질로 형성되고, 입사된 빛에 대한 전자기파 반응의 비국소성(nonlocality)을 활용하여 상기 입사된 빛의 주파수 및 입사각도에 따라 유효굴절률(effective refractive index)이 변하는 시공간분산(spatiotemporal dispersion)을 구현하는 무반사막 실리콘 광 검출기가 제공된다.

[0025] 상기 제1층, 상기 제2층 및 상기 이격층의 총 두께는, 상기 입사된 빛의 파장보다 작은 두께를 가지며, 상기 제2 층은 상기 제1 층 두께의 7배 내지 9배의 두께로 형성되고, 상기 이격층은 제1 층 두께의 3배 내지 3.5배의 두께로 형성될 수 있다.

[0026] 상기 이격층은 상기 입사된 빛의 중심 파장인 750nm의 0.04 내지 0.06배로 형성될 수 있다.

[0027] 상기 제1 층, 상기 제2 층 및 상기 이격층은 스퍼터링 공정을 통해 형성될 수 있다.

[0028] 본 발명의 다른 측면에 따르면, SiO_2 로 형성되는 제1 층; 상기 제1 층과 소정 거리만큼 이격되어 SiO_2 로 형성되는 제2 층; 및 상기 제1 층과 제2 층 사이에 배치되며 TiO_2 로 형성되는 이격층을 포함하되, 상기 이격층과 함께 구조적 이중층을 이루어 메타물질로 형성되고, 입사된 빛에 대한 전자기파 반응의 비국소성(nonlocality)을 활용하여 상기 입사된 빛의 주파수 및 입사각도에 따라 유효굴절률(effective refractive index)이 변하는 시공간분산(spatiotemporal dispersion)을 구현하는 무반사막이 제공된다.

[0029] 본 발명의 또 다른 측면에 따르면, PIN 접합을 통해 빛의 입사에 상응하는 광 전류를 발생시키는 실리콘 광 검출기 제조 방법으로서, 금속층 상에 고유한 결정질 실리콘으로 이루어진 진성 반도체층을 형성하는 단계; 상기 진성 반도체층 상에 n-type으로 도핑된 실리콘으로 이루어진 N형 반도체층을 형성하는 단계; 상기 진성 반도체층 상에 p-type으로 도핑된 실리콘으로 이루어진 P형 반도체층을 형성하는 단계; 상기 N형 반도체층 및 P형 반도체층 상에 음극 및 양극을 구성하는 금속패드를 형성하는 단계; 및 스퍼터를 이용하여 상기 P형 반도체층 상에 무반사막을 형성하는 단계를 포함하되, 상기 무반사막은, 상기 P형 반도체층 상에 위치하며 SiO_2 로 형성되는 제1 층, 상기 제1 층과 소정 거리만큼 이격되어 SiO_2 로 형성되는 제2 층, 상기 제1 층과 제2 층 사이에 배치되며 TiO_2 로 형성되는 이격층을 포함하고, 상기 무반사막은 상기 제1 층 및 제2 층이 상기 이격층과 함께 구조적 이중층을 이루어 메타물질로 형성되고, 입사된 빛에 대한 전자기파 반응의 비국소성(nonlocality)을 활용하여

상기 입사된 빛의 주파수 및 입사각도에 따라 유효굴절률(effective refractive index)이 변하는 시공간분산(spatiotemporal dispersion)을 구현하는 무반사막 실리콘 광 검출기 제조 방법이 제공된다.

발명의 효과

- [0030] 본 발명에 따르면, 가시광선 및 근적외선 영역에서의 빛의 주파수와 입사각도, 편광상태에 관계없이 각 물질층의 임피던스 정합을 이루어 빛 또는 전자기파의 반사를 차단하는 무반사막 구조를 설계할 수 있다.
- [0031] 또한, 본 발명에 따르면, 다층 무반사막과 같이 막의 두께가 파장대비 큰 무반사막에 대비하여 임의의 입사각도에서 빛의 반사를 제어할 수 있는 무반사막을 설계하여 광 검출기의 크기를 감소시킬 수 있다.
- [0032] 나아가, 본 발명에 따르면, 빛의 주파수 및 입사각도에 따라 유효굴절률이 변하는 물질의 시공간분산(spatiotemporal dispersion)을 활용하여 빛의 반사를 제어하는 만능 임피던스 정합 이론에 기반한 무반사막을 실리콘 광 검출기와 결합하여 각종 센서 및 인공지능 분야 등의 미래 산업에서 활용되는 광복합 소자의 반사 손실을 줄이고 출력되는 광 반응도를 향상시킬 수 있다.

도면의 간단한 설명

- [0033] 도 1은 본 발명의 일 실시예에 따른 무반사막 실리콘 광 검출기의 모식도이다.
- 도 2는 본 실시예에 따른 무반사막의 상세 구조도이다.
- 도 3은 서로 다른 실리콘 광 검출기의 빛 또는 전자기파의 광 흡수율을 나타낸 도면이다.
- 도 4는 본 발명의 일 실시예에 따른 무반사막 실리콘 광 검출기의 광학 현미경 및 주사 전자 현미경 이미지(SEM)를 나타낸 도면이다.
- 도 5는 본 실시예에 따른 무반사막 실리콘 광 검출기와 무반사막이 결합되지 않은 실리콘 광 검출기의 가시광선 영역에서 광 흡수율(absorption) 및 광 반응도(responsivity)를 실제로 측정하여 비교한 데이터를 나타낸 도면이다.
- 도 6은 본 실시예에 따른 무반사막 실리콘 광 검출기와 무반사막이 결합되지 않은 일반 실리콘 광 검출기의 근적외선 영역에서 흡수율(absorption) 및 반응도(responsivity)를 측정하여 비교한 데이터를 그래프로 나타낸 도면이다.
- 도 7은 본 실시예에 따른 무반사막 실리콘 광 검출기와 무반사막이 결합되지 않은 일반 실리콘 광 검출기에 가시광선 및 근적외선 영역의 빛 또는 전자기파를 다양한 입사각도로 입사하였을 때의 광 흡수율(absorption) 및 반응도(responsivity)를 측정하여 비교한 데이터를 그래프로 나타낸 도면이다.
- 도 8은 본 발명의 무반사막이 증착된 실리콘 광 검출기 형성 과정의 흐름도를 도시한 도면이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

- [0034] 본 발명은 다양한 변형을 가할 수 있고 여러 가지 실시예를 가질 수 있는 바, 특정 실시예들을 도면에 예시하고 상세하게 설명하고자 한다.
- [0035] 그러나, 이는 본 발명을 특정한 실시 형태에 대해 한정하려는 것이 아니며, 본 발명의 사상 및 기술 범위에 포함되는 모든 변형, 균등물 내지 대체물을 포함하는 것으로 이해되어야 한다.
- [0037] 도 1은 본 발명의 일 실시예에 따른 무반사막 실리콘 광 검출기의 모식도이고, 도 2는 본 실시예에 따른 무반사막의 상세 구조도이다.
- [0038] 본 실시예에 따른 실리콘 광 검출기는 빛을 입사시켰을 때 광자 에너지를 흡수한 반송자를 생성하고, 반송자의 흐름이 전류를 발생시키고 외부회로와 상호작용에 의해 광 신호에 상응하는 전기적 신호인 광 전류를 발생시킨다.
- [0039] 도 1을 참조하면, 본 실시예에 따른 실리콘 광 검출기(110)는 금속층(111), 진성 반도체층(112), N형 반도체층(113), P형 반도체층(114), 절연층(115), 음극(116), 양극(117) 및 무반사막(120)을 포함할 수 있다.
- [0040] 금속층(110)은 광 검출기 자체의 전극을 형성하며 Au와 같은 금속 물질로 구성된다.

- [0041] PIN 접합을 위한 진성 반도체층(112)은 고유한(intrinsic) 결정질 실리콘 기판일 수 있다.
- [0042] N형 반도체층(113)은 ion implantation 공정을 통해 형성되는 n-type으로 도핑된 실리콘일 수 있고, P형 반도체층(114)은 p-type으로 도핑된 실리콘일 수 있다.
- [0043] 절연층(115)은 이산화규소(SiO₂)로 형성될 수 있다.
- [0044] 음극(cathode, 116)은 N형 반도체층(113) 상에 위치하며, 복수의 양극(anode, 예를 들어, 3개의 양극, 117)은 P형 반도체층(114) 상에 위치한다.
- [0045] 또한, 무반사막(120)은 P형 반도체층(114) 상에 위치한다.
- [0046] 본 실시예에 따르면, 진성 반도체층(112)을 형성할 때, 소량의 n-type 도핑이 이루어지지만, 고유한 결정질 실리콘의 특성을 유지될 수 있도록 한다.
- [0047] 따라서, N형 반도체층(113)과 P형 반도체층(114)은 진성 반도체층(112)을 사이에 두어 PIN 접합을 이룰 수 있고, N형 반도체층(113) 및 P형 반도체층(114) 상에 결합된 음극(116) 및 양극(117)을 통해 PIN 접합에서 형성된 광 전류를 측정하여 광 반응도를 측정할 수 있다.
- [0048] 또한, 본 실시예에 따른 무반사막(120)은 가시광선 및 근적외선 파장대역의 주파수 또는 파장, 입사각도, 및 편광상태에 무관하게 반사를 제어하기 위해 실리콘 광 검출기(110)의 수광부에 위치할 수 있으며, 무반사막(120)은 종래의 만능 임피던스 정합(Universal Impedance Matching) 이론에 기반하여 형성할 수 있다.
- [0049] 만능 임피던스 정합(Universal Impedance Matching) 이론에 의하면, 가시광선 및 근적외선 파장대역의 주파수 또는 파장, 입사각도, 및 편광상태에 무관하게 공기에서 기관으로 입사하는 빛(또는 전자기파)의 반사를 제어하는 무반사막은 공기와 기관 사이에서 만능 임피던스 정합 조건에 맞는 메타물질(metamaterial)로 형성할 수 있으며, 메타물질은 입사하는 빛의 파장보다 얇은 두께를 갖는 층으로 구성된 구조적 이중층(Structural double layer)으로 형성할 수 있고, 구조적 이중층은 실리콘 광 검출기의 수광부에 결합함으로써 빛 또는 전자기파의 반사로 인한 에너지 손실을 줄여 실리콘 광 검출기로의 에너지 전달성을 향상시킬 수 있다.
- [0050] 본 실시예에 따른 무반사막은 상대 유전율(relative permittivity)과 상대 투자율(relative permeability)이 하기의 수학적 1을 만족하여 입사하는 빛의 주파수 또는 파장, 입사각, 및 편광상태에 무관하게 반사를 차단한다.

수학적 1

$$\epsilon_r = \frac{\pi \langle Y \rangle}{2\omega d \langle R \rangle}, \quad \mu_r = \frac{\pi}{2\omega d \langle Y \rangle \langle R \rangle}, \quad \frac{k^2}{\omega^2 \epsilon_r} = \frac{\pi}{2\omega d \langle Y \rangle} \left(\frac{1}{\langle R \rangle} - \langle R \rangle \right), \quad \frac{k^2}{\omega^2 \mu_r} = \frac{\pi \langle Y \rangle}{2\omega d} \left(\frac{1}{\langle R \rangle} - \langle R \rangle \right)$$

[0051]

[0052] 여기서, ϵ_r , ϵ_z 는 상대 유전율이고, $\langle Y \rangle$ 는 공기와 무반사막(120) 아래에 위치하는 기관을 형성하는 매질에 대한 빛의 기하 평균 어드미턴스(geometric mean admittance)이고, $\langle R \rangle$ 은 기하 평균 방향 코사인(geometric mean directional cosine), d는 무반사막의 두께이고, μ_r , μ_z 는 상대 투자율, k는 파수(wave number)를 나타내며, ω 는 빛의 각주파수이다.

[0053] 보다 구체적으로, $\langle Y \rangle$ 와 $\langle R \rangle$ 는 다음과 같이 표현될 수 있다.

수학적 2

$$\langle Y \rangle \equiv \sqrt{Y_1(0)Y_2(0)}, \quad \langle R \rangle \equiv \sqrt{\cos \theta_1 \cos \theta_2}, \quad Y_n(0) = \sqrt{\frac{\epsilon_n}{\mu_n}}, \quad \cos \theta_n = \sqrt{1 - \frac{k^2}{\epsilon_n \mu_n \omega^2}}, \quad n = 1, 2.$$

[0054]

- [0055] 여기서, n 은 매질의 종류이며, 각각 공기 또는 실리콘 기판을 포함하고, $Y_n(O)$ 은 n 번 매질에 수직으로 입사하는 빛의 어드미턴스, $\cos\theta_n$ 은 n 번 매질에서의 방향코사인, ϵ_n 은 n 번 매질의 유전율이고, μ_n 은 n 번 매질의 투자율을 나타낸다.
- [0056] 도 2를 참조하면, 무반사막(120)은 기판(114) 상에 위치하는 제1 층(121), 제1 층(121)과 소정 거리만큼 이격되어 제2 층(123) 및 제1 층과 제2 층 사이에 배치되는 이격층(122)을 포함할 수 있다.
- [0057] 본 실시예에 따른 무반사막(120)은 제1 층(121)과 제2 층(123) 및 그 사이에 배치된 이격층(122)을 포함하는 구조적 이중층을 통한 메타물질로 형성될 수 있다.
- [0058] 바람직하게, 제1 층(121)과 제2 층(123)은 굴절률이 1.40 내지 1.55의 범위를 갖는 이산화규소(SiO_2)로 구성될 수 있다.
- [0059] 이격층(122)은 제1 층(121)과 제2 층(123)보다 더 큰 굴절률을 갖는 결정질 실리콘(c-Si), 비균질 실리콘(a-Si) 및 폴리실리콘(poly-Si)로 구성될 수 있다.
- [0060] 물질의 복소 굴절률(complex refractive index)을 고려했을 때 빛의 감쇠를 나타내는 허수부인 감쇠계수(attenuation coefficient) 값이 입사하는 빛의 파장대역에서 0으로 수렴해야 무반사막 내부에서 흡수로 인한 손실이 존재하지 않고 광 검출기로 투과된다.
- [0061] 상기한 결정질 실리콘, 비균질 실리콘, 폴리실리콘 등의 반도체 물질들은 감쇠계수(attenuation coefficient) 값이 가시광선 영역대에서 0보다 큰 값을 가지고 있어 빛이 입사되었을 때 무반사막 내에서 흡수가 발생한다.
- [0062] 이에, 본 실시예에 따르면, TiO_2 를 통해 이격층(122)을 형성하여 가시광선 및 근적외선의 넓은 파장대역에서 입사각도 및 편광상태에 관계없이 무반사막 내에서 흡수가 발생하지 않도록 하여 광 손실을 줄이고 소자 성능을 향상시킬 수 있다.
- [0063] 본 실시예에 따르면, 제1 층(121), 이격층(122) 및 제2 층(123)의 총 두께는 입사하는 빛의 파장보다 작은 두께를 가질 수 있다.
- [0064] 보다 상세하게, 구조적 이중층을 이루는 물질의 굴절률에 따라 제2 층(123)은 제1 층(121) 두께의 7배 내지 9배의 두께로 형성될 수 있고, 이격층(122)은 제1 층(121) 두께의 3배 내지 3.5배의 두께로 형성될 수 있다.
- [0065] 또한, 이격층(122)은 입사하는 빛의 중심 파장인 750nm의 0.04배 내지 0.06배로 형성되며, 바람직하게는 0.056배로 형성될 수 있다.
- [0066] 본 실시예에 따른 구조적 이중층은 입사하는 빛의 파장보다 얇은 두께로 형성되어 입사하는 빛에 대한 전자기파 반응의 비국소성(nonlocality)을 이룰 수 있고, 이러한 비국소성을 활용하여 입사하는 빛의 주파수 및 입사각도에 따라 유효 매질 변수(effective material parameters)가 변하는 시공간분산(spatio-temporal dispersion)을 구현할 수 있다.
- [0067] 상기한 바와 같이, 구조적 이중층을 형성한 무반사막(120)은, 수학식 1 및 수학식 2에 대응하는 상대 유전율과 상대 투자율을 가질 수 있고, 가시광선 및 근적외선 파장대역의 주파수 또는 파장, 입사각도, 및 편광상태에 무관하게 반사를 제어할 수 있다.
- [0068] 도 3은 서로 다른 실리콘 광 검출기의 빛 또는 전자기파의 광 흡수율을 나타낸 도면이다.
- [0069] 도 3에서 가로축은 빛의 파장 또는 주파수를 나타내고, 세로축은 빛의 입사각도를 나타내며, 빛의 파장, 입사각도 및 편광상태에 따른 빛의 흡수율을 나타낸다.
- [0070] 보다 상세하게, 도 3의 그래프의 축은 파장이 400nm 내지 1100nm인 범위에서 75도 이하의 입사각도로 입사되는 빛에 대한 데이터를 나타낸 것이다.
- [0071] 도 3a 내지 3b는 무반사막이 결합되지 않은 실리콘 광 검출기의 TE 편광상태에 따른 흡수율(1-reflection 또는 absorption)과 TM 편광상태에 따른 흡수율을 나타낸 도면이다.
- [0072] 또한, 도 3c 내지 3d는 질화규소(Si_3N_4)를 이용한 1/4-파장 무반사막이 결합된 실리콘 광 검출기의 TE 편광상태에 따른 흡수율과 TM 편광상태에 따른 흡수율을 나타낸 도면이다.

[0073] 도 3c 내지 도 3d는 실리콘 기판 상에 종래기술에 따른 이상적인 1/4-파장 무반사막(Quarterwave Anti-Reflection, QAR)을 질화규소로 형성한 경우의 흡수율을 나타낸다.

[0074] 여기서, 1/4-파장 무반사막 조건은 하기의 수학식 3을 참고하여 설명할 수 있다.

수학식 3

$$t_{Si_3N_4} = \frac{\lambda}{4n}$$

[0075]

[0076] 여기서, t 는 두께, n 은 질화규소의 굴절률, λ 는 입사하는 빛의 파장이다.

[0077] 실리콘 광 검출기 및 질화규소(Si_3N_4) 실리콘 광 검출기의 경우, 가시광선 및 근적외선 영역에서의 효율적인 특성으로 인하여 현재까지도 센서 및 카메라, 실감미디어 등에 적용되는 광 검출기 물질로 많이 사용되기 때문에 만능 임피던스 정합 소자의 무반사막과 비교하기 좋은 물질군으로 파악되어 실험을 진행하였다.

[0078] 도 3e 내지 3f는 본 실시예에 따른 무반사막 실리콘 광 검출기의 TE 편광상태에 따른 흡수율과 TM 편광상태에 따른 흡수율을 나타낸 도면이다.

[0079] 도 3을 참조하면, 본 실시예에 따른 무반사막 실리콘 광 검출기의 경우 가시광선 및 근적외선을 포함한 넓은 파장대역에서 입사각도 및 편광상태에 관계없이 빛의 반사를 제어하기 때문에 높은 광 흡수율을 나타내는 것을 확인할 수 있다.

[0080] 도 4는 본 발명의 일 실시예에 따른 무반사막 실리콘 광 검출기의 광학 현미경 및 주사 전자 현미경 이미지(SEM)를 나타낸 도면이다.

[0081] 도 4a의 광학 현미경 이미지에 나타난 바와 같이, 실리콘 광 검출기 중앙에 무반사막이 증착되어 있으며, 양극(anode)과 음극(cathode)에 각각 와이어본딩이 되어 전기적인 신호를 출력하고 있음을 확인할 수 있다.

[0082] 도 4b는 물리기상증착법(physical vapor deposition, PVD)의 한 종류인 스퍼터(Sputter)를 활용하여 실리콘 기판 상에 이산화규소(SiO_2) 및 이산화타이타늄(TiO_2)를 증착한 소자의 단층 이미지를 보여준다.

[0083] 이때, 무반사막의 구조적 이중층(structural double layer)에서 이산화규소(SiO_2)로 이루어진 제1 층(121)은 16nm의 두께로 형성되고, 제2 층(123)은 120nm의 두께로 형성되었으며, 이산화타이타늄(TiO_2)로 이루어진 이격 층은 42nm로 형성되었음을 보여준다.

[0084] 한편, 스퍼터(Sputter)를 활용한 증착 방법은 빠르고 대면적으로 증착이 가능하며 낮은 비용으로 공정할 수 있어 경제성이 있다는 장점을 가질 수 있으며, 전체적인 공정 프로세스 면에서는 화학기상증착법(Chemical Vapor Deposition, CVD) 또는 물리기상증착법(Physical Vapor Deposition, PVD)를 활용한 단순한 공정과정을 통해 대면적으로 무반사막을 구현하여, 비용이나 대량생산 측면에서 이점을 획득할 수 있다.

[0085] 또한, 본 실시예는 나방눈 구조 무반사막(moth-eye anti-reflection layer)과 같이 복잡한 구조로 인해 공정이 어려운 비균질 무반사막에 대비하여 화학기상증착 및 물리기상증착 방법을 활용한 단순한 매질층의 증착으로 무반사막의 생산성을 향상시킬 수 있다.

[0086] 도 5a 내지 5f는 본 실시예에 따른 무반사막 실리콘 광 검출기와 무반사막이 결합되지 않은 실리콘 광 검출기의 가시광선 영역에서 광 흡수율(absorption) 및 광 반응도(responsivity)를 실제로 측정하여 비교한 데이터를 나타낸 도면이다.

[0087] 보다 구체적으로, 도 5a 내지 도 5f는 본 실시예에 따른 무반사막 실리콘 광 검출기와 일반 실리콘 광 검출기에 가시광선 대역인 480nm, 550nm, 650nm 파장의 임의의 입사각도 및 편광상태에 따른 광 흡수율 및 광 반응도를 출력하여 비교한 것이다.

[0088] 가로축은 입사각도를 나타내고, 왼쪽 세로축은 광 반응도를, 오른쪽 세로축은 광 흡수율을 나타낸다.

[0089] 또한, 왼쪽 세로축의 광 반응도는 출력되는 광 전류(current, 단위: ampere[A])를 입사하는 빛의 세기(power,

단위: watt[W])로 나눈 것이고, 다음과 같이 나타낼 수 있다.

수학식 4

$$\text{Responsivity [A/W]} = \frac{\text{Photocurrent [A]}}{\text{Optical power [W]}}$$

[0090]

[0091] 도 5a 및 5b는 본 실시예에 따른 무반사막 실리콘 광 검출기 및 일반 실리콘 광 검출기에 480nm 파장의 빛을 입사시켰을 때, 입사각도에 따른 광 반응도(responsivity) 및 광 흡수율(absorption)을 편광상태에 따라 나타낸 것이다.

[0092] 도 5c 및 5d는 본 실시예에 따른 무반사막 실리콘 광 검출기 및 일반 실리콘 광 검출기에 550nm 파장의 빛을 입사시켰을 때, 입사각도에 따른 광 반응도(responsivity) 및 광 흡수율(absorption)을 편광상태에 따라 나타낸 것이다.

[0093] 도 5e 및 5f는 본 실시예에 따른 무반사막 실리콘 광 검출기 및 일반 실리콘 광 검출기에 650nm 파장의 빛을 입사시켰을 때, 입사각도에 따른 광 반응도(responsivity) 및 광 흡수율(absorption)을 편광상태에 따라 나타낸 것이다.

[0094] 도 5a 내지 5f를 참고하면, 본 실시예에 따른 무반사막 실리콘 광 검출기의 광 전류(photocurrent) 및 광 반응도(responsivity)가 반사율 측정으로 확인한 흡수율과 유사한 경향성을 가지는 것을 확인할 수 있고, 일반 실리콘 광 검출기와 비교했을 때 가시광선 파장대역에서의 성능 지표가 더 우수하다는 것을 확인할 수 있다.

[0095] 즉, 본 실시예에 따른 무반사막 실리콘 광 검출기는 일반 실리콘 광 검출기와 비교하여 가시광선 영역대 파장의 빛을 입사하였을 때 75도 이하의 입사각 범위에서 편광상태에 관계없이 광 흡수율 및 광 반응도에서 효율적인 성능을 가지는 것을 확인할 수 있다.

[0096] 도 6a 내지 6d는 본 실시예에 따른 무반사막 실리콘 광 검출기와 무반사막이 결합되지 않은 일반 실리콘 광 검출기의 근적외선 영역에서 흡수율(absorption) 및 반응도(responsivity)를 측정하여 비교한 데이터를 그래프로 나타낸 도면이다.

[0097] 보다 구체적으로, 도 6a 내지 도 6f는 본 실시예에 따른 무반사막 실리콘 광 검출기와 일반 실리콘 광 검출기에 근적외선 대역인 800nm, 900nm 파장의 임의의 입사각도 및 편광상태에 따른 광 흡수율 및 광 반응도를 출력하여 비교하는 그래프를 나타낸 것이다.

[0098] 가로축은 입사각도를 나타내고, 왼쪽 세로축은 광 반응도를, 오른쪽 세로축은 광 흡수율을 나타낸다.

[0099] 도 6a 및 6b는 800nm 파장의 빛을 본 실시예에 따른 무반사막 실리콘 광 검출기 및 일반 실리콘 광 검출기에 입사시켰을 때, 입사각도에 따른 광 반응도(responsivity) 및 광 흡수율(absorption)을 편광상태에 따라 나타낸 것이다.

[0100] 도 6c 및 6d는 900nm 파장의 빛을 본 실시예에 따른 무반사막 실리콘 광 검출기 및 일반 실리콘 광 검출기에 입사시켰을 때, 입사각도에 따른 광 반응도(responsivity) 및 광 흡수율(absorption)을 편광상태에 따라 나타낸 것이다.

[0101] 도 6a 내지 6d를 참고하면, 본 실시예에 따른 무반사막 실리콘 광 검출기의 광전류(photocurrent) 및 광 반응도(responsivity)가 반사율 측정으로 확인한 흡수율과 유사한 경향성을 가지는 것을 확인할 수 있고, 일반 실리콘 광 검출기와 비교했을 때 근적외선 파장대역에서의 성능 지표가 더 우수하다는 것을 확인할 수 있다.

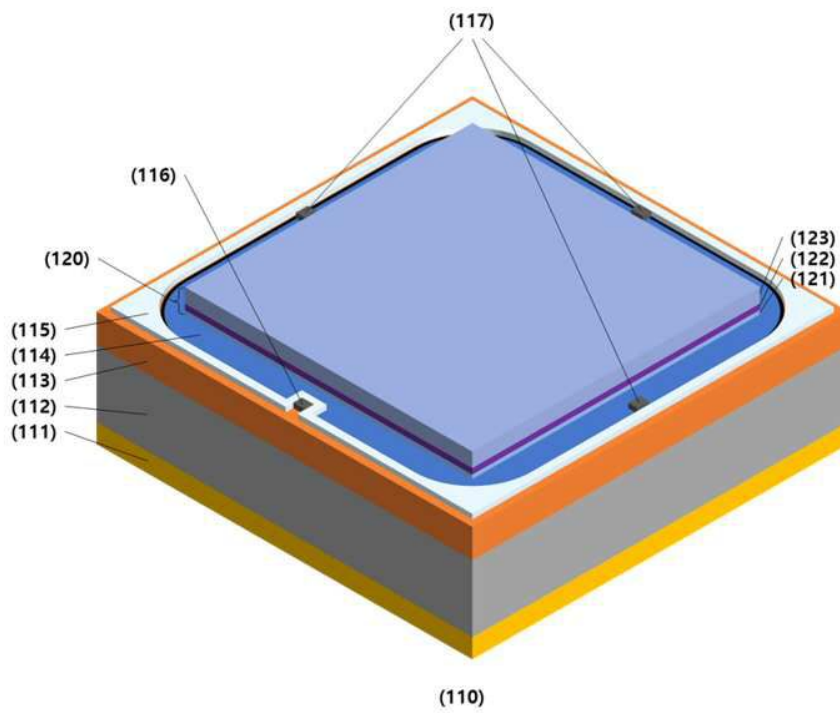
[0102] 즉, 도 6a 내지 6d의 그래프 분석 결과, 기존의 사용되던 일반적인 실리콘 광 검출기에 본 실시예에 따른 무반사막을 증착하여 75도 이하의 입사각도 및 가시광선 및 근적외선 영역의 긴 주파수 영역대에서 편광상태에 관계없이 빛의 반사를 방지할 수 있다. 이를 통해 본 실시예에 따른 광 검출기는 인공지능 센서, IoT 센서, 자율주행 센서 등의 광 센서 및 AR, VR, XR 등의 실감미디어 등의 미래 산업에 적용할 수 있다.

[0103] 도 7a 내지 도 7f는 본 실시예에 따른 무반사막 실리콘 광 검출기와 무반사막이 결합되지 않은 일반 실리콘 광 검출기에 가시광선 및 근적외선 영역의 빛 또는 전자기파를 다양한 입사각도로 입사하였을 때의 광 흡수율(absorption) 및 반응도(responsivity)를 측정하여 비교한 데이터를 그래프로 나타낸 도면이다.

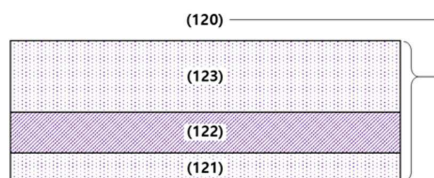
- [0104] 보다 상세하게, 도 7a 내지 도 7f는 본 실시예에 따른 무반사막 실리콘 광 검출기와 일반 실리콘 광 검출기에 가시광선 및 근적외선 대역의 주파수 또는 파장의 빛을 입사각도 0도, 25도, 50도로 각각 다르게 하여 데이터를 출력한 도면이다.
- [0105] 도 7a 및 도 7b는 가시광선 및 근적외선 파장대역의 빛을 0도의 입사각도에서 편광상태에 관계없이 무반사막이 결합된 실리콘 광 검출기와 일반 실리콘 광 검출기에 입사하여 측정한 광 흡수율(absorption) 및 반응도(responsivity)를 그래프로 나타낸 것이다.
- [0106] 도 7c 및 도 7d는 가시광선 및 근적외선 파장대역의 빛을 25도의 입사각도에서 편광상태에 관계없이 본 실시예에 따른 무반사막 실리콘 광 검출기와 일반 실리콘 광 검출기에 입사하여 측정한 광 흡수율(absorption) 및 반응도(responsivity)를 그래프로 나타낸 것이다.
- [0107] 도 7e 및 도 7f는 가시광선 및 근적외선 파장대역의 빛을 50도의 입사각도에서 편광상태에 관계없이 본 실시예에 따른 무반사막 실리콘 광 검출기와 일반 실리콘 광 검출기에 입사하여 측정한 광 흡수율(absorption) 및 반응도(responsivity)를 그래프로 나타낸 것이다.
- [0108] 도 7a 내지 7f를 참고하면, 본 실시예에 따른 무반사막 실리콘 광 검출기는 일반 실리콘 광 검출기 대비, 400nm에서 1000nm에서의 파장대역에서 0, 25, 50도의 입사각도로 설정하였을 때의 TE, TM 편광 상태에 대한 광 반응도(responsivity) 및 광 흡수율(absorption)에서 효율적인 성능을 확인할 수 있다.
- [0109] 도 8은 본 발명의 무반사막이 증착된 실리콘 광 검출기 형성 과정의 흐름도를 도시한 도면이다.
- [0110] 도 8을 참조하면, Au로 구성된 금속층(111) 상에 고유한(intrinsic) 결정질 실리콘(c-Si) 기판을 형성한다(단계 800). 이때, 상기 형성된 기판은 n-type으로 소량의 도핑이 이루어질 수 있지만, 고유한 결정질 실리콘의 특성을 유지될 수 있도록 한다.
- [0111] 금속층(111)은 물리기상증착법(physical vapor deposition, PVD)의 하나인 스퍼터를 활용하여 형성한다.
- [0112] 다음으로, ion implantation 공정을 통해 n-type 및 p-type으로 도핑된 N형 및 P형 반도체 층을 절연층을 사이에 두고 고유한 결정질 실리콘(c-Si) 기판 상에 형성하여 PIN 접합을 형성한다(단계 802). PIN 접합을 형성함으로써, 광자 에너지를 흡수한 반송자를 생성하고 반송자로 인한 흐름이 전류를 발생시키는데, 외부회로와 상호작용에 의해 광 신호에 상응하는 전기적 신호인 광 전류가 발생한다.
- [0113] PIN 접합이 형성된 곳에 알루미늄(Aluminum)으로 3개의 양극(anode)과 1개의 음극(cathode) 금속패드를 형성한다(단계 804).
- [0114] 금속패드 상에 1.455의 굴절률을 갖는 이산화규소(SiO_2)를 사용하여 무반사막의 제1 층(121)을 형성한다(단계 806).
- [0115] 다음으로, 2.4 내지 2.9의 굴절률을 갖는 이산화타이타늄(TiO_2)을 사용하여 이격층을 형성한다(단계 808).
- [0116] 이후, 1.455의 굴절률을 갖는 이산화규소(SiO_2)를 사용하여 제2 층(123)을 형성한다(단계 810).
- [0117] 단계 806 내지 810에서, 물리기상증착법(physical vapor deposition, PVD)의 하나인 스퍼터를 이용하여 제1 층(121), 이격층(122) 및 제2 층(123)을 형성한다.
- [0118] 무반사막의 각 층을 증착하는 스퍼터링 과정은 빠르고 대면적으로 증착이 가능하며 낮은 비용으로 공정할 수 있어 경제성이 있다는 장점이 있어 공정이 효율적이고 안정적으로 진행될 수 있다.
- [0119] 마지막으로, 알루미늄 금속패드와 회로기판 사이에 와이어본딩을 진행하여 생성된 전류를 측정할 수 있는 시스템을 형성한다(단계 812).
- [0120] 여기서, 와이어본딩은 단계 804에서 생성한 양극(anode)과 음극(cathode)에 와이어를 붙이고 회로기판의 금속패드와 연결하여 광 전류를 측정하는 것이 목적이다.
- [0121] 상기한 본 발명의 실시예는 예시의 목적을 위해 개시된 것이고, 본 발명에 대한 통상의 지식을 가지는 당업자라면 본 발명의 사상과 범위 안에서 다양한 수정, 변경, 부가가 가능할 것이며, 이러한 수정, 변경 및 부가는 하기의 특허청구범위에 속하는 것으로 보아야 할 것이다.

도면

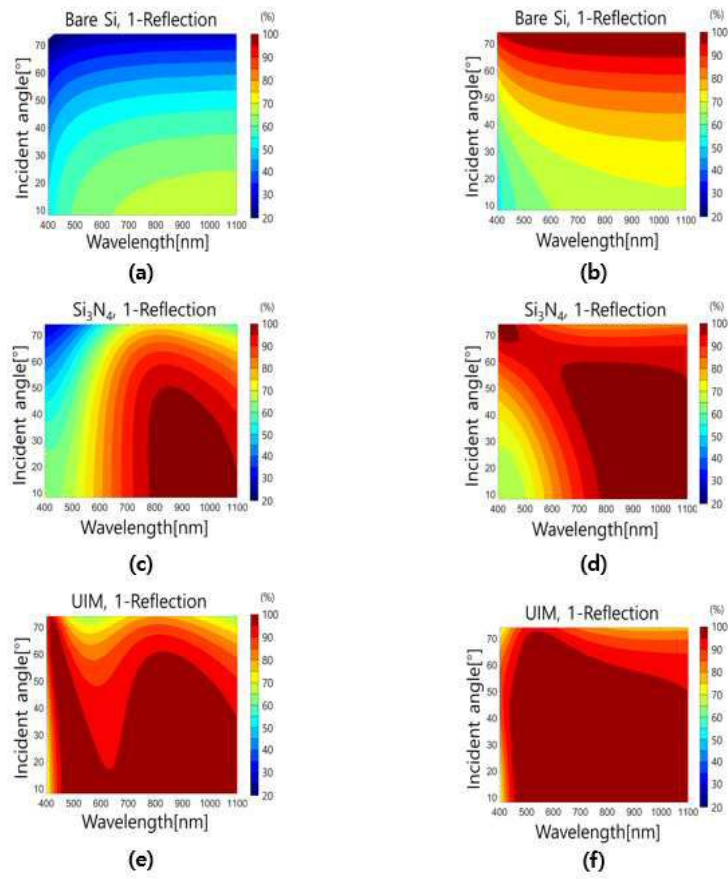
도면1



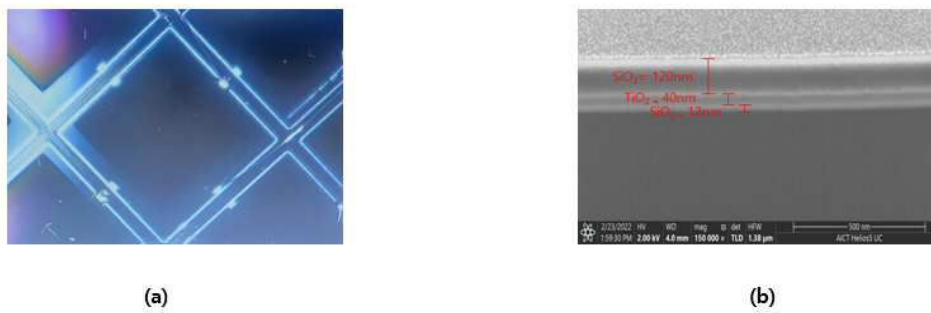
도면2



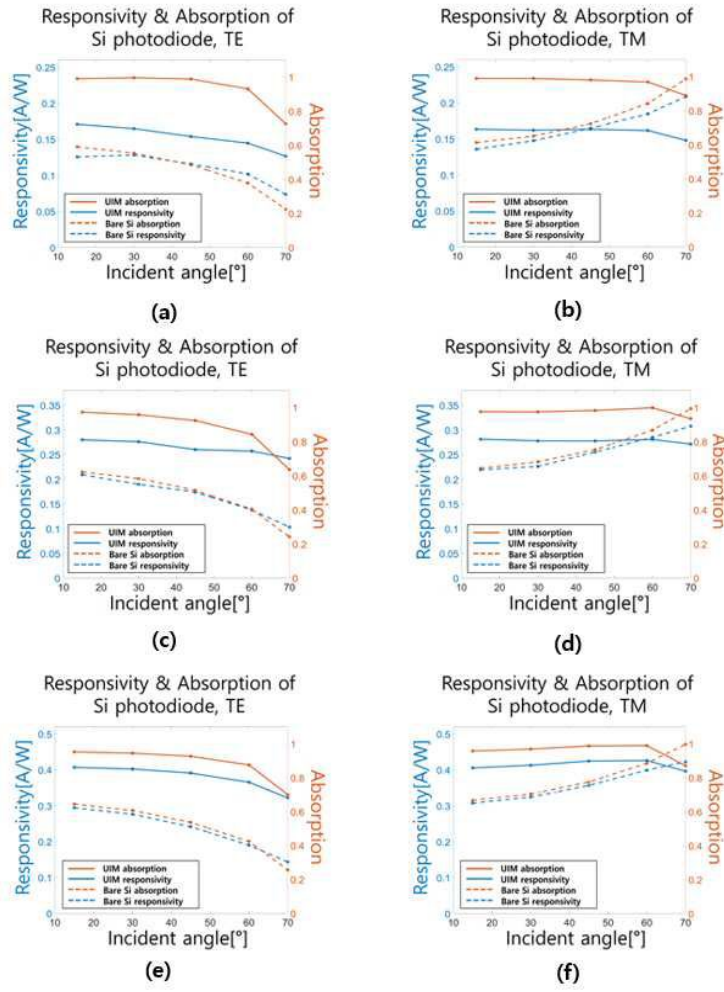
도면3



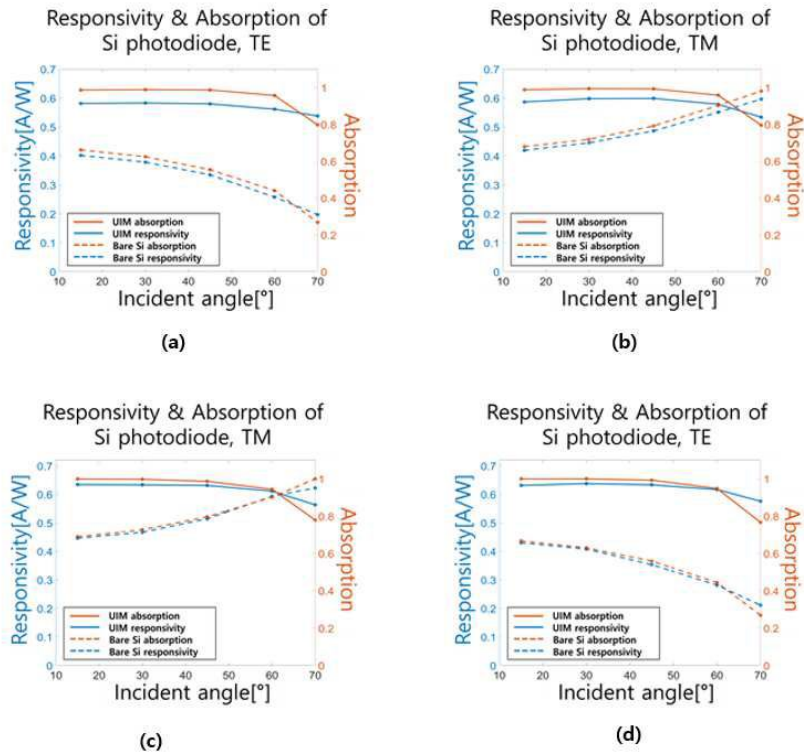
도면4



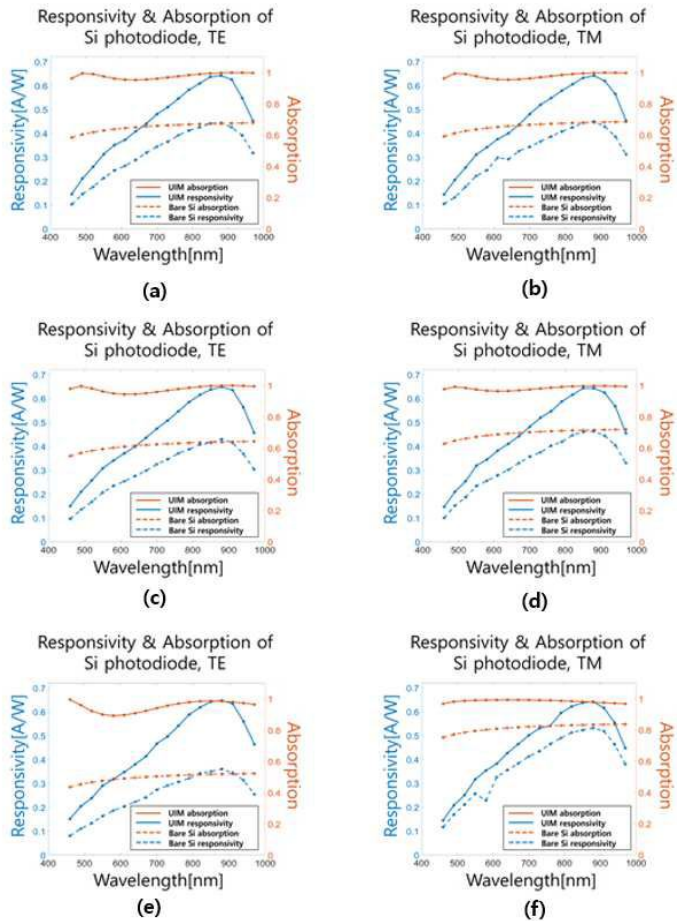
도면5



도면6



도면7



도면8

