



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2023년08월02일
(11) 등록번호 10-2563180
(24) 등록일자 2023년07월31일

- (51) 국제특허분류(Int. Cl.)
H01L 31/108 (2006.01) H01L 31/103 (2006.01)
H01L 31/18 (2006.01)
- (52) CPC특허분류
H01L 31/108 (2013.01)
H01L 31/1035 (2013.01)
- (21) 출원번호 10-2020-0156011
- (22) 출원일자 2020년11월19일
심사청구일자 2020년11월19일
- (65) 공개번호 10-2022-0068811
- (43) 공개일자 2022년05월26일
- (56) 선행기술조사문헌

- (73) 특허권자
세종대학교산학협력단
서울특별시 광진구 능동로 209 (군자동, 세종대학교)
- (72) 발명자
임유승
서울특별시 송파구 양재대로 1218 올림픽선수기자촌아파트 246동 904호
- (74) 대리인
특허법인이상

US20180374980 A1*
Higashiwaki, Masataka, et al.
"State-of-the-art technologies of gallium oxide power devices." Journal of Physics D: Applied Physics 50.33 (2017): 333002. 1부.*
Xue, HuiWen, et al. "An overview of the ultrawide bandgap Ga2O3 semiconductor-based Schottky barrier diode for power electronics application." Nanoscale research letters 13.1 (2018): 1-13. 1부.*
*는 심사관에 의하여 인용된 문헌

전체 청구항 수 : 총 2 항

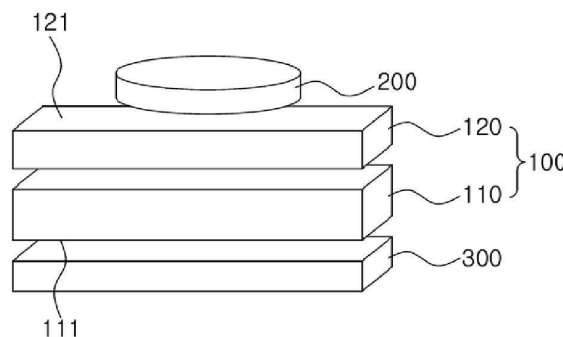
심사관 : 오규환

(54) 발명의 명칭 자외선 검출 소자 및 이의 제조 방법

(57) 요약

쇼트키 베리어 다이오드 기반의 자외선 검출 소자 및 이의 제조 방법이 개시된다. 이는 베타-산화갈륨 기판의 상하부에 각각 전도성 산화물을 이용하여 쇼트키 접합 및 오믹 접합되도록 하여 적외선, 가시광, near UV 영역에서는 반응하지 않고 자외선 영역에서는 흡수 특성을 나타내어 광반응을 갖는 자외선 검출 소자를 구현할 수 있다. 따라서, 전면 가시광 영역에서 투명한 전극 소재 사용으로 스마트 윈도우나 차량용 유리 UV 감지 센서와 같이 투명 유리기판 상에 UV 센서 응용으로 활용될 수 있다.

대표도 - 도1



(52) CPC특허분류

H01L 31/1844 (2013.01)

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호	20200634
과제번호	P07820002101
부처명	산업자원통상부
과제관리(전문)기관명	한국산업기술진흥원
연구사업명	산업혁신인재성장지원사업
연구과제명	차세대 전력반도체 소자제조 전문인력양성사업
기 여 율	1/1
과제수행기관명	세종대학교 산학협력단
연구기간	2020.03.01 ~ 2021.02.28

명세서

청구범위

청구항 1

삭제

청구항 2

삭제

청구항 3

삭제

청구항 4

삭제

청구항 5

삭제

청구항 6

삭제

청구항 7

삭제

청구항 8

삭제

청구항 9

산화갈륨 반도체층을 제공하는 단계;

상기 산화갈륨 반도체층 상에 전도성 산화물층인 ITO(Indium Tin Oxide)의 캐소드 전극을 형성하는 단계; 및

상기 산화갈륨 반도체층 상에 상기 캐소드 전극과 대향되도록 전도성 산화물층인 IZTO(Indium Zinc Tin Oxide)의 애노드 전극을 형성하는 단계를 포함하고,

상기 애노드 전극은 상기 산화갈륨 반도체층과 쇼트키 접합되고, 상기 캐소드 전극은 상기 산화갈륨 반도체층과 옴 접합되어 자외선을 검출하되,

상기 캐소드 전극과 상기 애노드 전극이 형성된 상기 산화갈륨 반도체층은 상기 애노드 전극과 상기 산화갈륨 반도체층의 일함수를 고려하여 상온 초과 100°C 미만의 온도로 열처리를 수행하는 것인 자외선 검출 소자의 제조방법.

청구항 10

삭제

청구항 11

제9항에 있어서, 상기 산화갈륨 반도체층을 제공하는 단계는,

Sn으로 도핑되고, 베타-산화갈륨(β -Ga₂O₃) 반도체층인 제1 산화갈륨층을 형성하는 단계; 및

상기 제1 산화갈륨층 상에 Si로 도핑되고, 상기 제1 산화갈륨층에 비해 저농도로 도핑된 베타-산화갈륨(β -Ga₂O₃) 반도체층인 제2 산화갈륨층을 형성하는 단계를 더 포함하는 자외선 검출 소자의 제조방법.

청구항 12

삭제

청구항 13

삭제

발명의 설명

기술 분야

[0001] 본 발명은 자외선 검출 소자 및 이의 제조 방법에 관한 것으로, 더욱 상세하게는 쇼트키 베리어 다이오드 기반의 자외선 검출 소자 및 이의 제조 방법에 관한 것이다.

배경 기술

[0002] 최근 고에너지갭 반도체로서 새롭게 주목받고 있는 베타-산화갈륨(beta-gallium oxide, β -Ga₂O₃)은 ~4.8eV의 넓은 밴드갭을 통해 큰 항복전압과 낮은 온저항을 갖는 새로운 전력반도체 소재로 주목받고 있다. 또한, 전력반도체 이외에도 고에너지갭 장점을 통해 자외선 영역의 흡수를 선택적으로 할 수 있는 광센서로서 기존 GaN 계열의 반도체를 대체할 소재로 주목받고 있다.

[0003] 특히, 재료적 측면에서 고품질의 단결정 기판을 용융 성장(melting growth) 기법을 기반으로 대구경의 잉곳(Ingot)을 만들 수 있기 때문에 기존 고에너지갭 소재인 SiC와 GaN에 비해 저가격의 웨이퍼 구현이 가능하여 가격 경쟁력이 높을 것으로 예상되고 있다.

[0004] 한편, 자외선 검출기로서 베타산화갈륨 연구 결과들이 보고되고 있으나, 쇼트키 및 오믹 접합 물질에 대해 아직 최적화가 진행되고 있지 않으며, 가시광 영역에서 소자 자체의 투명성을 통해 응용처를 기능성 윈도우와 같은 곳으로 확대하고자 함에 있어서는 쇼트키 접합용 투명 전도성 산화물에 대한 연구가 진행되고 있지 않은 실정이다.

선행기술문헌

특허문헌

[0005] (특허문헌 0001) 한국특허공개 10-2016-0036362

발명의 내용

해결하려는 과제

[0006] 본 발명이 이루고자 하는 기술적 과제는 전도성 산화물의 오믹 및 쇼트키 접합을 통해 가시광 영역에서는 투명하나 자외선 영역에서는 광흡수특성을 갖는 자외선 검출 소자 및 이의 제조 방법을 제공하는데 있다.

과제의 해결 수단

[0007] 상술한 과제를 해결하기 위해 본 발명의 자외선 검출 소자는 산화갈륨 반도체층, 상기 산화갈륨 반도체층 상에 배치된 애노드 전극 및 상기 산화갈륨 반도체층 상에 배치되며, 상기 애노드 전극과 대향되도록 배치된 캐소드 전극을 포함하고, 상기 애노드 전극 또는 상기 캐소드 전극은 전도성 산화물층일 수 있다.

[0008] 상기 애노드 전극은 상기 산화갈륨 반도체층과 쇼트키 접합되고, 상기 캐소드 전극은 상기 산화갈륨 반도체층과 오믹 접합될 수 있다.

[0009] 상기 산화갈륨 반도체층은 n형의 도전성을 갖는 베타-산화갈륨(β -Ga₂O₃) 반도체층일 수 있다.

- [0010] 상기 산화갈륨 반도체층은, 상기 베타-산화갈륨 반도체층인 제1 산화갈륨층; 및 상기 제1 산화갈륨층 상에 상기 제1 산화갈륨층에 비해 저농도로 도핑된 제2 산화갈륨층을 포함할 수 있다.
- [0011] 상기 제2 산화갈륨층은 상기 제1 산화갈륨층으로부터 에피택셜 성장된 층일 수 있다.
- [0012] 상기 제1 산화갈륨층은 Sn으로 도핑된 베타-산화갈륨층이고, 상기 제2 산화갈륨층은 Si로 도핑된 베타-산화갈륨층일 수 있다.
- [0013] 상기 캐소드 전극은 IZTO(Indium Zinc Tin Oxide) 전도성 산화물층이고, 상기 애노드 전극은 ITO(Indium Tin Oxide) 전도성 산화물층일 수 있다.
- [0014] 상기 애노드 전극은 상기 산화갈륨 반도체층보다 높은 일함수를 갖고, 상기 캐소드 전극은 상기 산화갈륨 반도체층보다 낮은 일함수를 가질 수 있다.
- [0015] 상술한 과제를 해결하기 위해 본 발명의 자외선 검출 소자의 제조방법은 산화갈륨 반도체층을 제공하는 단계, 상기 산화갈륨 반도체층 상에 전도성 산화물층인 캐소드 전극을 형성하는 단계 및 상기 산화갈륨 반도체층 상에 상기 캐소드 전극과 대향되도록 전도성 산화물층인 애노드 전극을 형성하는 단계를 포함한다.
- [0016] 상기 캐소드 전극은 상기 산화갈륨 반도체층과 쇼트키 접합되고, 상기 애노드 전극은 상기 산화갈륨 반도체층과 오믹 접합될 수 있다.
- [0017] 상기 산화갈륨 반도체층을 제공하는 단계는, Sn으로 도핑되고, 베타-산화갈륨(β -Ga₂O₃) 반도체층인 제1 산화갈륨층을 형성하는 단계 및 상기 제1 산화갈륨층 상에 Si로 도핑되고, 상기 제1 산화갈륨층에 비해 저농도로 도핑된 베타-산화갈륨(β -Ga₂O₃) 반도체층인 제2 산화갈륨층을 형성하는 단계를 더 포함할 수 있다.
- [0018] 상기 캐소드 전극은 IZTO(Indium Zinc Tin Oxide) 전도성 산화물층이고, 상기 애노드 전극은 ITO(Indium Tin Oxide) 전도성 산화물층일 수 있다.
- [0019] 상기 캐소드 전극과 상기 애노드 전극이 형성된 상기 산화갈륨 반도체층을 열처리 하는 단계를 더 포함하고, 상기 열처리 온도는 상온 초과 100℃ 미만의 온도를 가질 수 있다.

발명의 효과

- [0020] 상술한 본 발명에 따르면, 쇼트키 베리어 다이오드 기반으로, 베타-산화갈륨 기판의 상하부에 각각 전도성 산화물을 이용하여 쇼트키 접합 및 오믹 접합되도록 하여 적외선, 가시광, near UV 영역에서는 반응하지 않고 자외선 영역에서는 흡수 특성을 나타내어 광반응을 갖는 자외선 검출 소자를 구현할 수 있다. 따라서, 전면 가시광 영역에서 투명한 전극 소재 사용으로 스마트 윈도우나 차량용 유리 UV 감지 센서와 같이 투명 유리기판 상에 UV 센서 응용으로 활용될 수 있다.
- [0021] 본 발명의 기술적 효과들은 이상에서 언급한 것들로 제한되지 않으며, 언급되지 않은 또 다른 기술적 효과들은 아래의 기재로부터 당업자에게 명확하게 이해될 수 있을 것이다.

도면의 간단한 설명

- [0022] 도 1은 본 발명의 자외선 검출 소자를 나타낸 도면이다.
- 도 2는 본 발명의 자외선 검출 소자의 열처리 온도에 따른 역방향 및 순방향 바이어스 전류 특성을 나타낸 그래프이다.
- 도 3은 본 발명의 자외선 검출 소자의 광과장 변화에 따른 다이오드 특성 변화를 나타낸 그래프이다.
- 도 4는 본 발명의 자외선 검출 소자에 열처리를 수행했을 때, 광과장 변화에 따른 다이오드 특성 변화를 나타낸 그래프이다.
- 도 5은 본 발명의 자외선 검출 소자의 열처리 유무에 따른 과장별 전류 및 온저항 변화를 나타낸 그래프이다.
- 도 6은 본 발명의 자외선 검출 소자에서 255nm 과장에서 광전력밀도에 따른 전류 변화를 나타낸 그래프이다.
- 도 7은 본 발명의 자외선 검출 소자의 광펄스 인가에 따른 광응답 특성 변화를 나타낸 도면이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

- [0023] 본 발명은 다양한 변환을 가할 수 있고 여러 가지 실시 예를 가질 수 있는바, 특정 실시 예를 도면에 예시하고 상세한 설명에 상세하게 설명하고자 한다. 그러나, 이는 본 발명을 특정한 실시 형태에 대해 한정하려는 것이 아니며, 본 발명의 사상 및 기술 범위에 포함되는 모든 변환, 균등물 내지 대체물을 포함하는 것으로 이해되어야 한다. 본 발명을 설명함에 있어서 관련된 공지 기술에 대한 구체적인 설명이 본 발명의 요지를 흐릴 수 있다고 판단되는 경우 그 상세한 설명을 생략한다.
- [0024] 이하, 본 발명에 따른 실시 예를 첨부도면을 참조하여 상세히 설명하기로 하며, 첨부 도면을 참조하여 설명함에 있어, 동일하거나 대응하는 구성 요소는 동일한 도면번호를 부여하고 이에 대한 중복되는 설명은 생략하기로 한다.
- [0026] 도 1은 본 발명의 자외선 검출 소자를 나타낸 도면이다.
- [0027] 도 1을 참조하면, 본 발명에 따른 자외선 검출 소자는 산화갈륨 반도체층(100), 산화갈륨 반도체층(100) 상에 배치된 애노드 전극(200) 및 산화갈륨 반도체층(100) 상에 배치되며, 상기 캐소드 전극(300)과 대향되도록 배치된 캐소드 전극(300)을 포함한다.
- [0028] 산화갈륨 반도체층(100)은 n형 또는 p형의 도전성을 갖는 산화갈륨(Ga_2O_3)계 화합물 반도체를 포함하는 반도체층일 수 있다. 일례로, 산화갈륨 반도체층(100)은 n형 산화갈륨 반도체층(100)일 수 있으며, n형 산화갈륨 반도체층(100)은 고에너지갭(~4.8eV)을 갖는 베타-산화갈륨($\beta-Ga_2O_3$)으로 형성되는 것이 바람직하나, Cu, Ag, Zn, Cd, Al, In, Si, Ge 및 Sn을 포함하는 군으로부터 선택되는 1종 이상을 첨가한 Ga를 주성분으로 한 산화물로 형성될 수 있다.
- [0029] 여기서, 베타-산화갈륨($\beta-Ga_2O_3$) 반도체층은 무색 투명하고, 종래의 실리콘(Si)이나 탄화규소(SiC) 반도체층 보다 넓은 밴드 갭을 갖기 때문에 본 발명에 따른 베타-산화갈륨($\beta-Ga_2O_3$) 반도체층은 종래의 실리콘이나 탄화규소 반도체층에 비해 자외선 검출에 효과적일 수 있다.
- [0030] 또한, 산화갈륨 반도체층(100)은 제1 산화갈륨층(110) 및 제1 산화갈륨층(110) 상에 배치된 제2 산화갈륨층(120)을 포함할 수 있다.
- [0031] 제1 산화갈륨층(110)은 n형의 도전성을 갖는 베타-산화갈륨($\beta-Ga_2O_3$) 반도체로 높은 전자 캐리어 농도를 갖는 반도체층으로서, 일례로, 제1 산화갈륨층(110)은 EFG(Edge defined film fed growth)법을 이용하여 형성되며, 수백 마이크로미터의 두께 구체적으로 약 500 μm 내지 1000 μm 의 두께를 가질 수 있다.
- [0032] 또한, 제1 산화갈륨층(110)의 캐리어 농도는 기판 제작시에 발생하는 산소 결함이나 Si 또는 Sn 등 VI족의 도펀트의 양에 의해 정해진다. 예컨대, 제1 산화갈륨층(110)은 10^{18} 내지 $10^{19} cm^{-3}$ 의 캐리어 농도를 갖는 것이 바람직하다. 즉, 제1 산화갈륨층(110)은 고전자 캐리어 농도의 반도체층일 수 있다.
- [0033] 제2 산화갈륨층(120)은 제1 산화갈륨층(110) 상에 형성되며, n형의 도전성을 갖는 베타-산화갈륨($\beta-Ga_2O_3$) 반도체로서, 저전자 캐리어 농도의 반도체층일 수 있다. 즉, 제2 산화갈륨층(120)은 제1 산화갈륨층(110)의 캐리어 농도보다 낮은 캐리어 농도를 가질 수 있다. 일례로, 제2 산화갈륨층(120)의 캐리어 농도는 $10^{18} cm^{-3}$ 보다도 낮은 범위로 설정되며, 10^{15} 내지 $10^{16} cm^{-3}$ 의 캐리어 농도를 갖는 것이 바람직하다. 상기 제2 산화갈륨층(120)의 캐리어 농도는 쇼트키 다이오드에 요구되는 역방향 내압(VRM)과 산화갈륨(Ga_2O_3)의 전계 파괴 강도(E_m)에 기초하여 설정될 수 있다.
- [0034] 또한, 제2 산화갈륨층(120)은 일례로, PVD(physical vapor deposition)법, PLD(pulsed laser deposition)법, MBE(molecular beam epitaxy)법, MOCVD(metal-organic chemical vapor deposition)법, HVPE(Hydride vapor phase epitaxy)법 등에 의해, 베타-산화갈륨($\beta-Ga_2O_3$) 웨이퍼 상에 베타-산화갈륨($\beta-Ga_2O_3$) 단결정을 에피택셜 결정 성장시켜 형성될 수 있다. 따라서, 산화갈륨 반도체층(100)은 베타-산화갈륨($\beta-Ga_2O_3$)으로 형성된 고전자 캐리어 농도의 제1 산화갈륨층(110) 상에 베타-산화갈륨($\beta-Ga_2O_3$)으로 형성된 저전자 캐리어 농도의 제2 산화갈륨층(120)이 배치된 구조를 가질 수 있다. 이때, 제2 산화갈륨층(120)은 약 5 μm 내지 10 μm 의 두께를 가질 수 있다.
- [0035] 상기 제1 산화갈륨층(110) 및 제2 산화갈륨층(120)은 모두 n형 도펀트로 도핑되며, 제1 산화갈륨층(110)은 제2

산화갈륨층(120) 대비 도펀트의 농도가 약 100배 내지 500배 높을 수 있다. 일례로, n형 도펀트로는 Si, Sn 또는 이들의 조합이 사용될 수 있다. 구체적으로, 제1 산화갈륨층(110)은 Sn 도핑된 베타 산화갈륨층(Sn-doped β -Ga₂O₃)일 수 있고, 제2 산화갈륨층(120)은 Si 도핑된 베타 산화갈륨층(Si-doped β -Ga₂O₃)일 수 있다. 여기서, 제2 산화갈륨층(120)의 캐리어 농도는 에피택셜 결정 성장 중에 있어서의 Si나 Sn 등의 VI족의 도펀트의 공급량 또는 산소 결함을 제어함으로써 조절될 수 있다.

[0036] 애노드 전극(200)은 산화갈륨 반도체층(100)과 쇼트키 접합(Schottky Junction)될 수 있다.

[0037] 일례로, 애노드 전극(200)은 EB(Electron Beam) 증착법, 진공 증착법 또는 스퍼터링법에 의해 산화갈륨 반도체층(100) 상에 형성될 수 있다. 구체적으로, 애노드 전극(200)은 제2 산화갈륨층(120)의 제1 주표면(121)과 쇼트키 접합될 수 있다.

[0038] 또한, 애노드 전극(200)의 일함수는 산화갈륨 반도체층(100)의 일함수보다 높은 일함수를 가질 수 있다. 일반적으로, 반도체와 금속 사이에서 정류 작용이 발생하는 쇼트키 접합을 가능하도록 하기 위해서는, 반도체층이 n형일 경우, 반도체의 일함수 Φ_s 와 금속의 일함수 Φ_m 와의 관계가 $\Phi_s < \Phi_m$ 이 되도록 설정해야 한다. 따라서, 산화갈륨 반도체층(100)과 쇼트키 접합하는 애노드 전극(200)은 4.9eV 내지 6.1eV 구체적으로는 5eV 이상의 일함수를 갖는 전도성 물질로 형성되되, 전도성 물질은 전도성 산화물을 포함하는 것이 바람직하다. 다만, 반도체층이 p형 반도체일 경우, n형 반도체와 반대의 관계로 설정될 수 있다. 일례로, p형 반도체의 일함수 Φ_s 와 금속의 일함수 Φ_m 와의 관계가 $\Phi_s > \Phi_m$ 이 되도록 설정될 수 있다.

[0039] 캐소드 전극(300)은 산화갈륨 반도체층(100) 상에 옴릭 접합(Ohmic Junction)될 수 있다. 일례로, 캐소드 전극(300)은 EB(Electron Beam) 증착법, 진공 증착법 또는 스퍼터링법에 의해 제1 산화갈륨층(110)의 제2 주표면(111) 상에 옴릭 접합될 수 있다. 또한, 제1 산화갈륨층(110)과 옴릭 접합하는 캐소드 전극(300)은 산화갈륨 반도체층(100)이 n형일 경우, 반도체의 일함수 Φ_s 와 금속의 일함수 Φ_m 와의 관계가 $\Phi_s > \Phi_m$ 이 되도록 4.7eV 이하의 일함수를 갖는 전도성 물질로 형성되되, 전도성 물질은 전도성 산화물을 포함하는 것이 바람직하다. 다만, 산화갈륨 반도체층(100)이 p형 반도체일 경우, 애노드 전극(200)에서와 같이 n형 반도체와 반대의 관계로 설정될 수 있다. 일례로, p형 반도체의 일함수 Φ_s 와 금속의 일함수 Φ_m 와의 관계가 $\Phi_s < \Phi_m$ 이 되도록 설정될 수 있다.

[0040] 즉, 본 발명에 따른 자외선 감지 소자는 애노드 전극(200) 및 캐소드 전극(300)이 각각 전도성 산화물층일 수 있다. 따라서, 종래 금속층으로 된 전극에 비해 투명성을 갖는 전도성 산화물을 전극에 적용함으로써 자외선 검출 소자의 광 입사 효율을 향상시킬 수 있으며, 스마트 윈도우나 차량용 유리 UV 감지 센서와 같은 투명 유리기판 상에 UV 센서의 응용으로도 활용될 수 있다.

[0041] 여기서, 전도성 산화물은 IZTO(indium zinc tin oxide), ITO(Indium Tin Oxide), IZO(indium zinc oxide), IAZO(indium aluminum zinc oxide), IGZO(indium gallium zinc oxide), IGTO(indium gallium tin oxide), AZO(aluminum zinc oxide), ATO(antimony tin oxide) 또는 GZO(gallium zinc oxide) 중 적어도 하나를 포함할 수 있으나, 애노드 전극(200)은 일함수 5eV 이상을 갖는 IZTO 전도성 산화물을, 캐소드 전극(300)은 일함수 4.7eV 이하를 갖는 ITO 전도성 산화물로 형성되는 것이 바람직하다.

[0042] 즉, 제2 산화갈륨층(120)의 제1 주표면(121) 상에 일함수 5eV 이상을 갖는 IZTO 전도성 산화물이 쇼트키 접합되고, 제1 산화갈륨층(110)의 제2 주표면(111) 상에 일함수 4.7eV 이하를 갖는 ITO 전도성 산화물이 옴릭 접합될 수 있다.

[0043] 상술한 바와 같이, 본 발명에 따른 자외선 감지 소자는 베타-산화갈륨 반도체층(100) 상에 애노드 전극(200)과 캐소드 전극(300)으로 IZTO 및 ITO의 전도성 산화물층을 각각 쇼트키 접합, 옴릭 접합하여 배치함으로써 적외선, 가시광, near UV 영역에서는 반응하지 않고, 태양광 블라인드(solar blind) 영역(4.13eV 이상, 300nm 이하 파장)의 자외선 영역에서는 흡수특성을 갖는 쇼트키 베리어 다이오드 기반의 자외선 검출 소자를 구현할 수 있다.

[0044] 또한, 본 발명에 따른 자외선 검출 소자는 상기 캐소드 전극(300)과 상기 애노드 전극(200)이 산화갈륨 반도체층(100)과 접합된 후, 상온 또는 100℃ 미만의 열처리를 통해 제작되는 것이 바람직하다.

[0045] 만약, 산화갈륨 반도체층(100)에 IZTO 전도성 산화물이 접합된 쇼트키 베리어 다이오드를 100℃ 보다 높은 고온에서 열처리 진행시, Zn 성분의 휘발 현상에 의해 IZTO의 조성이 변화하게 되고, IZTO의 조성 변화에 의해 일함

수(work function)가 감소하게 된다. 이는, 쇼트키 베리어 높이(Schottky barrier height, SBH) 감소를 유발하기 때문에 쇼트키 베리어 다이오드의 특성이 나빠지게 되어, 결과적으로 쇼트키 베리어 다이오드를 기반으로 하는 자외선 검출 소자의 성능이 저하되는 단점을 갖는다.

[0046] 또한, 자외선 검출 소자의 광반응성의 경우 고온에서 열처리한 소자에서 상온 대비 반응은 우수하게 나타날 수 있으나, 지속적인 광전류(persistent photo current, PPC)가 발생되기 때문에 자외선 검출 소자를 지속적인 환경에서 사용하는 것은 불리할 수 있다. 따라서, 자외선 검출 소자의 전기적 특성과 광학적 특성을 모두 고려했을 때, 스퍼터링 증착시 발생하는 온도 환경을 고려하여 상온 또는 100℃ 미만의 열처리를 이용하여 제작하는 것이 바람직하다.

[0048] 이하, 본 발명의 이해를 돕기 위하여 바람직한 실험예(example)를 제시한다. 다만, 하기의 실험예는 본 발명의 이해를 돕기 위한 것일 뿐, 본 발명이 하기의 실험예에 의해 한정되는 것은 아니다.

[0050] 제조예 1

[0051] EFG (Edge defined film fed growth)법을 사용하여 Sn이 약 10^{18} atmos/cm⁻³의 농도로 도핑된 약 650um 두께의 베타-산화갈륨(Sn-doped β-Ga₂O₃) 웨이퍼의 상부면 상에, HVPE (Halid Vapor Phase Epitaxy)를 사용하여 Si이 약 10^{16} atmos/cm⁻³의 농도로 도핑된 베타-산화갈륨(Si-doped β-Ga₂O₃) 에피층을 약 5um 두께로 성장시켰다. 베타-산화갈륨 에피층 상부면 상에 약 300nm 두께의 IZTO 전도성 산화물을, 베타-산화갈륨 웨이퍼 하부면에 약 150nm 두께의 ITO 전도성 산화물을 스퍼터링 공정을 이용하여 각각 증착하였다.

[0053] 제조예 2 내지 4

[0054] 제조예 1과 같이, 베타-산화갈륨 기판 상하부에 IZTO 및 ITO 전도성 산화물을 각각 형성한 후, 100 mTorr의 Ar 가스 분위기에서 200℃, 400℃, 또는 600℃로 1분간 RTA (Rapid thermal annealing)을 각각 진행하여 제조하였다.

[0056] 도 2(a),(b)는 본 발명의 자외선 검출 소자의 열처리 온도에 따른 역방향 및 순방향 바이어스 전류 특성을 나타낸 그래프이다.

[0057] 도 2(a),(b)를 참조하면, IZTO 전도성 산화물을 Si 도핑된 베타 산화갈륨층(Si-doped β-Ga₂O₃)과 쇼트키 베리어 접합을 함으로서, 역방향 바이어스에서 억제된 누설전류 특성과 온저항 특성에 의해 정류(rectification)비가 10^8 이상으로 우수한 특성이 나타남을 확인할 수 있다.

[0058] 또한, 열처리 온도가 증가함에 따라 역방향 바이어스의 전류가 증가하는 것을 확인할 수 있다. 이는 열처리 온도가 증가함에 따라 IZTO 박막의 결정화 진행 및 산소 탈착에 의한 산소결함 증가로 캐리어 농도 증가와 함께 쇼트키 베리어 장벽이 낮아지는 것에 기인한다.

[0059] 도 3은 본 발명의 자외선 검출 소자의 광과장 변화에 따른 다이오드 특성 변화를 나타낸 그래프이다.

[0060] 도 4는 본 발명의 자외선 검출 소자에 열처리를 수행했을 때, 광과장 변화에 따른 다이오드 특성 변화를 나타낸 그래프이다.

[0061] 우선, 도 3(a),(b)는 열처리를 수행하지 않았을 때, 광과장 변화에 따른 역방향 및 순방향 바이어스 전류 특성을 나타내며, 조사한 과장의 전력밀도를 1mW/cm²로 고정하였다.

[0062] 도 3(a),(b)를 참조하면, 광과장 중 255nm 과장의 빛이 조사됐을 경우, -25V에서 암전류(dark current) 대비 약 10^3 배 증가하였고, 0V 기준으로는 10^5 배 전류가 증폭됨을 확인할 수 있다.

[0063] 도 4(a),(b)는 600℃의 온도로 열처리를 수행했을 때, 광과장 변화에 따른 역방향 및 순방향 바이어스 전류 특성을 나타내며, 조사한 과장의 전력밀도를 1mW/cm²로 고정하였다.

[0064] 도 4(a),(b)를 참조하면, 600℃의 온도로 열처리를 수행했을 때 광과장 중 255nm 과장의 빛이 조사됐을 경우, -25V에서 암전류 대비 약 10^6 배 증가하였고, 0V 기준으로는 10^7 배 전류가 증폭되는 것을 확인할 수 있다. 허나, 이는 내부 산소결함들에 의한 광 조사에 따른 과잉캐리어 증가에 기인한다 할 수 있다.

[0065] 또한, -75V 이상의 고전압 영역으로 갈수록 암전류의 누설 특성이 열처리를 수행하지 않았을 때 대비 600℃의

고온에서 열처리를 수행했을 경우 뚜렷하게 나타남을 확인할 수 있다. 즉, 600℃의 고온에서 열처리를 수행했을 경우 보다 열처리하지 않은 소자에서 광 조사에 따른 광전류와의 비 특성이 향상됨을 확인할 수 있다.

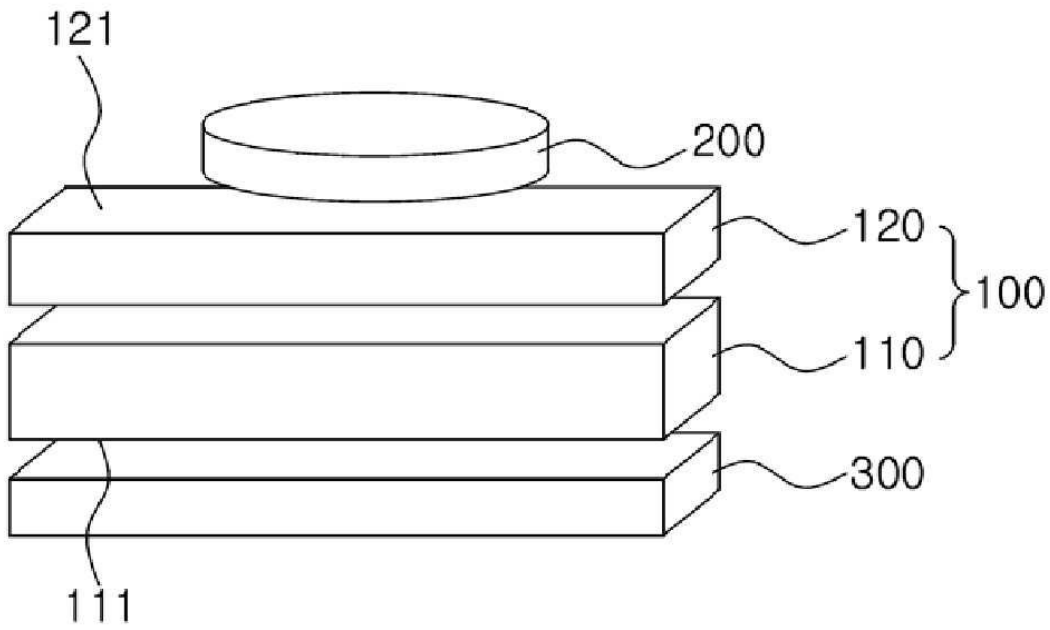
- [0066] 도 5은 본 발명의 자외선 검출 소자의 열처리 유무에 따른 과장별 전류 및 온저항 변화를 나타낸 그래프이다.
- [0067] 도 5를 참조하면, 도 5(a)는 열처리를 하지 않았을 경우와 600℃의 온도로 열처리를 수행했을 때, 과장 변화에 따른 전류 변화를 나타내고, 도 5(b)는 열처리를 하지 않았을 경우와 600℃의 온도로 열처리를 수행했을 때, 과장 변화에 따른 온저항 변화를 나타낸다.
- [0068] 열처리를 하지 않았을 경우와 600℃의 온도로 열처리를 수행했을 경우 모두 단과장으로 감에 따라 점차 소자의 광전류가 증가되는 것을 확인할 수 있다. 허나, 과장 변화에 따른 온저항 변화에서와 같이, 600℃의 온도로 열처리를 수행했을 경우는 단과장으로 갈수록 온저항이 급격히 증가되나, 열처리를 하지 않았을 경우는 온저항 변화가 크게 나타나지 않는 것을 확인할 수 있다.
- [0069] 도 6은 본 발명의 자외선 검출 소자에서 255nm 과장에서 광전력밀도에 따른 전류 변화를 나타낸 그래프이다.
- [0070] 도 6을 참조하면, 255nm 과장에서 광전력밀도에 따른 전류의 변화는 $2.5 \mu W/cm^2$ 이후에 열처리를 수행했을 경우와 열처리를 수행하지 않았을 경우 모두 광전류가 급격히 증가되는 것을 확인할 수 있으나, 열처리를 수행하지 않은 경우가 600℃의 온도로 열처리를 수행했을 경우보다 더욱 높은 광전류 변화가 발생하는 것을 확인할 수 있다.
- [0071] 도 7은 본 발명의 자외선 검출 소자의 광펄스 인가에 따른 광응답 특성 변화를 나타낸 도면이다.
- [0072] 도 7을 참조하면, 도 7의 실험결과 -1V의 역방향 바이어스 인가한 상태에서 0.1Hz의 광펄스 인가에 따른 전류 밀도 변화를 나타낸 것으로, 600℃의 온도로 열처리를 수행했을 경우가 열처리를 수행하지 않았을 경우보다 큰 응답 특성을 갖을 수 있으나, 상술한 바와 같이, 인가된 광 펄스 자극의 온-오프 특성에서 암전류에 전류가 초기상태로 돌아가지 않는 지속적인 광전류(persistent photo current, PPC)가 발생될 수 있다. 이는 자외선 검출 소자를 지속적인 환경에서 사용함에 있어 불리한 특성을 유발하기 때문에, 자외선 검출 소자의 전기적 특성과 광학적 특성을 모두 고려했을 때, 스퍼터링 증착시 발생하는 온도 환경을 고려하여 100℃ 미만의 상온 제작이 바람직하다.
- [0074] 상술한 바와 같이, 본 발명에 따른 자외선 검출 소자는 쇼트키 베리어 다이오드 기반으로, 베타-산화갈륨 기판의 상하부에 각각 IZTO 전도성 산화물을 쇼트키 접합하고, ITO 전도성 산화물을 오믹 접합되도록 하여 적외선, 가시광, near UV 영역에서는 반응하지 않고 자외선 영역에서는 흡수 특성을 나타내어 광반응을 갖는 자외선 검출 소자를 구현할 수 있다. 즉, 전면 가시광 영역에서 투명한 전극 소재 사용으로 스마트 윈도우 차량용 유리 UV 감지 센서와 같이 투명 유기기판 상에 UV 센서 응용으로 활용될 수 있다.
- [0075] 한편, 본 명세서와 도면에 개시된 본 발명의 실시 예들은 이해를 돕기 위해 특정 예를 제시한 것에 지나지 않으며, 본 발명의 범위를 한정하고자 하는 것은 아니다. 여기에 개시된 실시 예들 이외에도 본 발명의 기술적 사상에 바탕을 둔 다른 변형 예들이 실시 가능하다는 것은, 본 발명이 속하는 기술 분야에서 통상의 지식을 가진 자에게 자명한 것이다.

부호의 설명

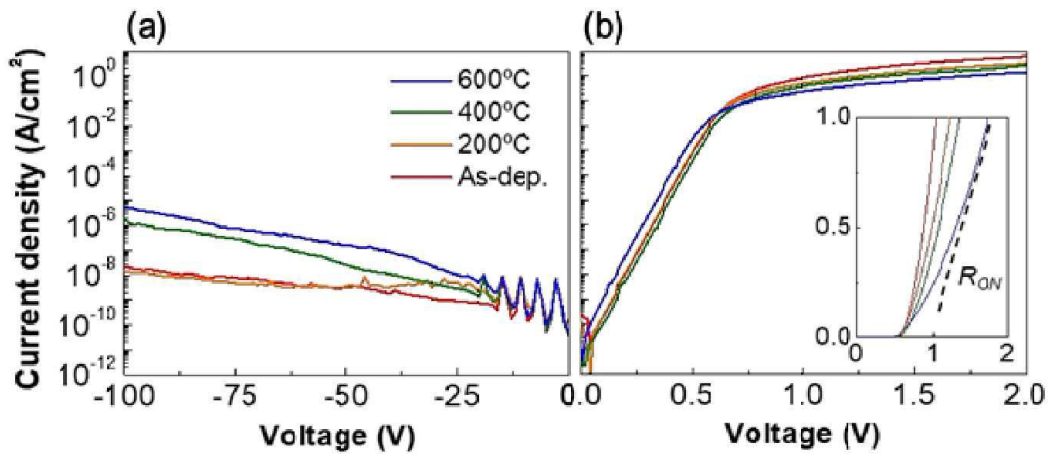
- [0076] 100 : 산화갈륨 반도체층 110 : 제1 산화갈륨층
- 120 : 제2 산화갈륨층 200 : 애노드 전극
- 300 : 캐소드 전극

도면

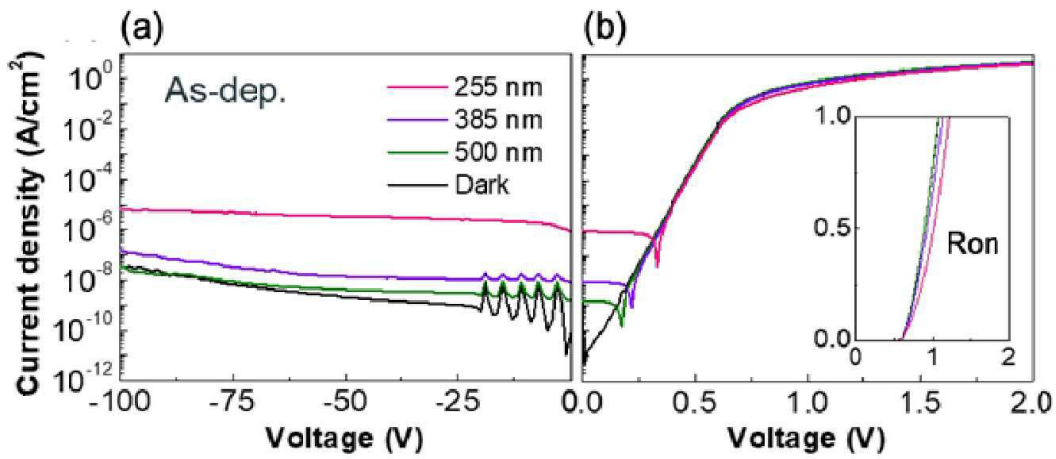
도면1



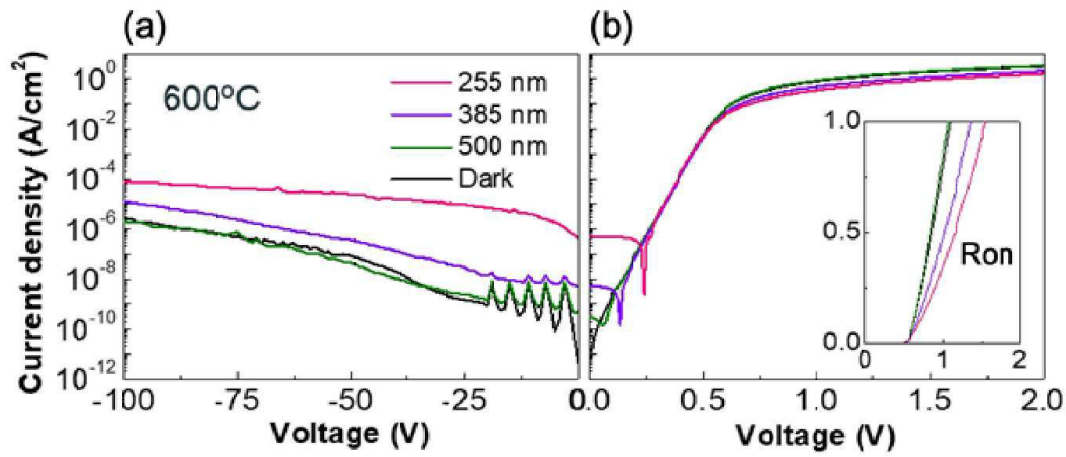
도면2



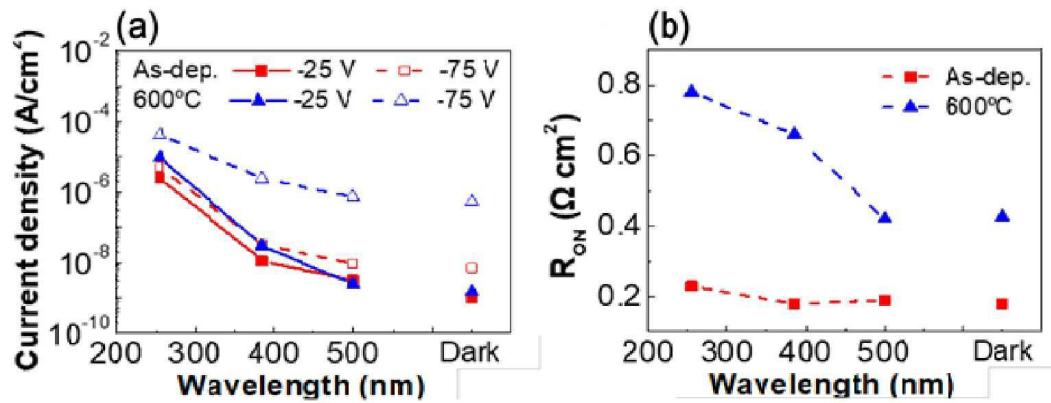
도면3



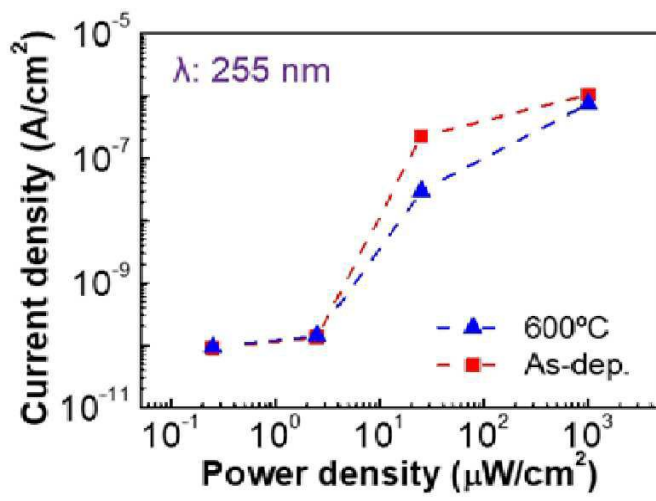
도면4



도면5



도면6



도면7

