

	(19) 대한민국특허청(KR) (12) 공개특허공보(A)	(11) 공개번호 (43) 공개일자	10-2011-0072231 2011년06월29일
(51)	Int. Cl.	(71)	출원인
	<i>H01L 29/86</i> (2006.01)		경희대학교 산학협력단
(21)	출원번호		경기도 용인시 기흥구 서천동 1 경희대학교 국제 캠퍼스내
(22)	출원일자	(72)	발명자
	심사청구일자		최석호
	2009년12월22일		경기도 수원시 영통구 영통동 989-2 현대아파트
	2009년12월22일		726-1103
			윤종결
			경기도 수원시 권선구 권선동 벽산한성아파트
			805-1102호
		(74)	대리인
			이덕록

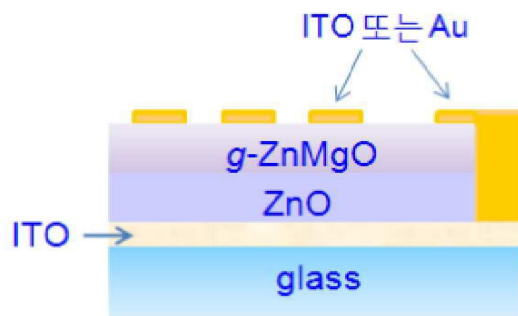
전체 청구항 수 : 총 9 항

(54) 단극성 수직형 투명 다이오드

(57) 요약

본 발명은 기관, 하부 전극, ZnO 박막, ZnMgO 박막 및 상부 전극이 순서대로 적층되어 이루어진 단극성 수직형 투명 다이오드에 관한 것으로, 본 발명의 단극성 수직형 투명 다이오드는 ZnMgO의 밴드갭 증가와 전기적 특성 변화를 이용하여 쇼트키 접합 특성을 향상시킴으로써 평판 디스플레이 장치나 모바일 전자기기에 적용되는 투명전자 공학 기술에서 핵심적인 소자로 사용할 수 있는 효과가 있다.

대표도 - 도3



특허청구의 범위

청구항 1

기관, 하부 전극, ZnO 박막, ZnMgO 박막 및 상부 전극이 순서대로 적층되어 이루어진 단극성 수직형 투명 다이오드.

청구항 2

제1항에 있어서, 상기 하부 전극은 ITO(Indium Tin Oxide) 또는 ZnO에 Al, Ga, In 또는 Ir를 불순물로 첨가한 전도성 산화물인 것을 특징으로 하는 단극성 수직형 투명 다이오드.

청구항 3

제1항에 있어서, 상기 ZnMgO 박막은 Mg의 농도 기울기를 만든 g-ZnMgO 박막인 것을 특징으로 하는 단극성 수직형 투명 다이오드.

청구항 4

제3항에 있어서, 상기 g-ZnMgO 박막 내의 Mg의 농도 기울기는 분무 열분해법 또는 화학기상증착법에 의해 Zn과 Mg, 또는 도핑 불순물을 포함하는 금속유기물 원료를 반응로 내부로 공급하는 장치를 제어함으로써 이루어지는 것을 특징으로 하는 단극성 수직형 투명 다이오드.

청구항 5

제3항에 있어서, 상기 g-ZnMgO 박막은 ZnO와 MgO 두 타겟을 이용하여 코-스퍼터링(co-sputtering) 또는 코-어블레이션(co-ablation) 방식으로 증착되는 것을 특징으로 하는 단극성 수직형 투명 다이오드.

청구항 6

제5항에 있어서, 상기 g-ZnMgO 박막이 코-스퍼터링 방식에 의해 MgO 타겟을 장착한 마그네트론의 전력을 컴퓨터 인터페이스를 통해 연속적으로 변화시켜 스퍼터 비율을 제어함으로써 증착되는 g-ZnMgO 막의 성분비가 조절되는 것을 특징으로 하는 단극성 수직형 투명 다이오드.

청구항 7

제5항에 있어서, 상기 g-ZnMgO 박막이 레이저 펄스 증착법에 의해 빔 스플리터(splitter)로 레이저 빔의 경로를 두 개로 만들고, 경로상에 컴퓨터 인터페이스가 된 아퍼처(aperture)를 설치한 후, 아퍼처 구경을 연속적으로 변화시켜 레이저 빔의 파워를 조절하고, 이로써 타겟의 박리 비율을 조절함으로써 박막의 화학적 조성을 변화시켜 제조되는 것을 특징으로 하는 단극성 수직형 투명 다이오드.

청구항 8

제1항에 있어서, 상기 상부전극은 ITO 또는 ZnO에 Al, Ga, In 또는 Ir를 불순물로 첨가한 전도성 산화물이거나 또는 한 쪽 면만 빛이 투과해도 되는 경우 Au, Ag, Pt 또는 Ni로 구성된 균으로부터 선택된 불투명 금속 전극인 것을 특징으로 하는 단극성 수직형 투명 다이오드.

청구항 9

제1항에 있어서, 상기 단극성 수직형 투명 다이오드가 UV-광전다이오드(photodiode) 또는 자외선 영상촬영 카메라에 적용되는 것을 특징으로 하는 단극성 수직형 투명 다이오드.

명 세 서

발명의 상세한 설명

기술 분야

[0001] 본 발명은 단극성 수직형 투명 다이오드에 관한 것으로, 보다 구체적으로는 기관, 하부 전극, ZnO

박막, ZnMgO 박막 및 상부 전극이 순서대로 적층되어 이루어진 단극성 수직형 투명 다이오드에 관한 것이다.

배경 기술

[0002] 오늘날 평판 디스플레이 장치나 모바일 전자기기에 많이 적용되는 투명전자 공학 기술에서 투명 트랜지스터 및 투명 다이오드는 기술적으로 핵심적인 소자이다. 투명 다이오드는 디스플레이 장치에서 전류 흐름의 방향을 제어할 뿐만 아니라 발광효율을 증가시켜 전력소모를 줄일 수 있고, 에너지 밴드갭이 큰 물질로 제작한 투명 다이오드는 자외선을 감지하는 단기능 소자에도 직접 응용할 수 있다.

[0003] 종래 초음파 분무 열분해(ultrasonic spray pyrolysis; USP) 방법에 의해 p 및 n 형 ZnO 박막으로 제조한 투명 다이오드(Jing Chen et al., Nanoelectronics Conference, 2008. INEC 2008. 2nd IEEE International), 유리 기판 위에 p-형 구리 알루미늄 산화물(p-CuAlO_{2+x}) 박막과 n-형 알루미늄 도핑 아연 산화물(n-Zn_{1-x}Al_xO) 박막으로 제조한 투명 pn 헤테로접합 다이오드(A.N. Banerjee et al., Thin Solid Films 515 (2007) 7324.7330) 등이 제시된 바 있다.

[0004] 또한 투명 다이오드는 박막으로 증착하여 수직형 다이오드를 제작하게 되면 소자의 크기를 줄일 수 있어서 집적도를 높일 수 있으므로, 자외선 감지특성을 이용한 자외선 영상 촬영 카메라에 적용할 수 있다.

[0005] 한편, 저항변화를 이용한 비휘발성(Resistive random access memory; RRAM)에서 크로스 토크(cross talking) 문제를 해결하기 위해서도 수직형 박막 다이오드가 필수적이다.

[0006] 종래 RRAM에서 크로스 토크 문제 해결을 위한 수직형 다이오드(Unipolar transparent vertical diodes)(Adv. Mater. 20, 3066; 2008)에서는, 도 1에 나타난 바와 같이 헤테로 p-n접합 다이오드를 사용하였으나, 본 발명에서는 투명전극 ITO 와 ZnO의 쇼트키(Schottky) 접합을 통해 ZnO의 광학적 성능을 최적화시킴으로써 투명 RRAM의 개발을 가능하게 하였으며, 또한 상기 다이오드는 단극형이어서 다수 운반자만 전도에 관여하므로 빠른 응답 특성을 가지고, 수직형이므로 높은 주입 전류밀도를 얻을 수 있고 소자 크기 최소화에 적합하였다.

[0007] 산화물 반도체 ZnO와 쇼트키 접합에 있어서, ZnO와 금속전극과의 쇼트키 접합에 관한 현재까지의 연구 결과는 이론과는 달리 쇼트키 장벽(Φ_B)과 전극 금속의 일함수(Ψ_M) 사이에 상관관계를 보이지 않고 있음이 알려져 있다. 고품질의 쇼트키 접합을 얻기 어려운 이유는 ZnO 표면에서의 결함 및 표면 상태(surface states)에 대한 정확한 정보가 없으며, 전극 금속에 의한 갭 상태(gap states)나 표면에 유도되는 전기쌍극자 등이 쇼트키 접합 특성에 영향을 줄 뿐만 아니라, 결함에 의한 페르미 준위 pinning 효과 등이 주요 원인인 것으로 분석되고 있다. 현재까지 ZnO와 ITO와의 쇼트키 접합에 대한 연구결과는 아직 보고된 바가 없는데, 이는 ITO의 일함수가 상대적으로 낮아서 좋은 결과를 기대할 수 없는 것이 주요 원인이다.

[0008]

[0009] 본 발명에서는 ZnMgO의 밴드갭 증가와 전기적 특성 변화를 이용하여 쇼트키 접합 특성을 향상시켜 단극성 수직형 투명 다이오드를 구현하고 본 발명에 이르게 되었다.

발명의 내용

해결 하고자하는 과제

[0010] 따라서 본 발명의 목적은 쇼트키 접합 특성이 향상된 단극성 수직형 투명 다이오드를 제공하는 것이다.

[0011] 또한 본 발명의 다른 목적은 상기 단극성 수직형 투명 다이오드의 자외선 감지 특성을 이용한 용도를 제공하는 것이다.

과제 해결수단

[0012] 상기와 같은 본 발명의 목적은 기판, 하부 전극, ZnO 박막, ZnMgO 박막 및 상부 전극이 순서대로 적층

하여 단극성 수직형 투명 다이오드를 제조하고, 제조된 다이오드 중 $g\text{-ZnMgO/ZnO}$ 이중박막의 성분 깊이 및 구조를 분석하고, 다이오드의 일반적인 특성 및 자외선 감지 특성을 분석하여 자외선 감지특성이 매우 우수함을 확인함으로써 달성되었다.

- [0013] 본 발명은, 도 3에 도시한 바와 같이, 기판, 하부 전극, ZnO 박막, ZnMgO 박막 및 상부 전극이 순서대로 적층되어 이루어진 단극성 수직형 투명 다이오드를 제공한다.
- [0014] 본 발명에 있어서, 상기 기판은 유리가 바람직하나, 이에 제한되는 것은 아니며 당업계에서 통상적으로 사용되는 사파이어 등 가시광 영역에서 투명한 모든 종류의 기판을 사용할 수 있다.
- [0015] 본 발명에서 있어서, 상기 하부 전극은 다이오드에서 일반적으로 사용되는 투명산화물전극인 ITO(Indium Tin Oxide)가 바람직하나, 이에 제한되는 것은 아니며 당업계에서 통상적으로 사용되는 ZnO에 불순물(Al, Ga, In, Ir 등)을 첨가한 전도성 산화물을 사용할 수 있다.
- [0016] 본 발명에 있어서, 상기 ZnO 박막은 3.37 eV의 큰 에너지 밴드갭을 가지므로 투명소자 제작에 적합하고, 재료비가 저렴하며, 상대적으로 낮은 온도에서 박막을 증착할 수 있는 장점을 가진다. 상기 ZnO 박막에는 필요에 따라 불순물(Al, Ga, In, Ir 등)을 첨가하여 전기적 특성을 조절할 수 있다.
- [0017] 본 발명에 있어서, ZnO 박막 위에 ZnMgO 혼합물 박막을 증착한다. 상기 ZnMgO 박막은 박막 내에서 Mg의 농도가 상부로 가면서 점점 증가하는 형태를 취하는 것이 특히 바람직하다. 본 발명에서는 이렇게 Mg의 농도 기울기를 만든 박막을 $g\text{-ZnMgO}$ 라 한다. 도 4에 나타낸 바와 같이, $g\text{-ZnMgO}$ 박막 내부의 Mg 농도 기울기를 변화시킬 수 있으며, $g\text{-ZnMgO}$ 박막의 전기적특성을 변화시키기 위해서 불순물(Al, Ga, In, Ir 등)을 첨가할 수 있다.
- [0018] 본 발명에 있어서, 상기 상부전극은 하부 전극과 동일한 형태이나, 한 쪽 면만 빛이 투과해도 되는 경우에는 불투명한 금속 전극(Au, Ag, Pt, Ni 등)을 사용할 수 있다.
- [0019] 본 발명에 따른 수직형 투명 다이오드는 분무 열분해법 또는 화학기상증착법을 이용하여 제조할 수 있다. 분무 열분해법이나 화학기상증착법에서는 Zn과 Mg, 또는 도핑 불순물인 Al 등의 원소를 포함하는 금속유기물 원료를 반응로 내부로 공급하는 장치를 제어하여 박막의 성분기울기를 제어할 수 있다. 박막 내에서 성분비에 기울기를 주기에 용이한 방법으로 이러한 방법이 가장 이상적이지만, 다른 방법에서도 적용할 수 있다.
- [0020] 본 발명에 있어서, 상기 $g\text{-ZnMgO}$ 박막은 스퍼터링이나 레이저 펄스 증착법과 같은 물리적 증착방법에 있어서, ZnO와 MgO 두 타겟을 이용하여 코-스퍼터링(co-sputtering) 또는 코-어블레이션(co-ablation) 방식으로 $g\text{-ZnMgO}$ 를 증착할 수 있다.
- [0021] 일반적인 스퍼터링 방식에서는 스퍼터 타겟을 하나만 사용하지만, 본 발명에서 제시한 성분기울기가 있는 박막을 증착하기 위해서는 ZnO 및 MgO 2개의 타겟을 사용하여야 한다. 스퍼터링의 경우에는 MgO 타겟을 장착한 마그네트론의 전력을 컴퓨터 인터페이스를 통해 연속적으로 변화시켜 스퍼터 비율을 제어함으로써 증착되는 ZnMgO 막의 성분비를 조절할 수 있다.
- [0022] 레이저 펄스 증착법의 경우에도 스퍼터링 방식과 마찬가지로 2개의 타겟을 사용하되, 빔 스플리터(splitter)로 레이저 빔의 경로를 두 개로 만들고, 경로상에 컴퓨터 인터페이스가 된 아퍼처(aperture)를 설치한다. 아퍼처 구경을 연속적으로 변화시켜 레이저 빔의 파워를 조절하고, 이로써 타겟의 박리 비율을 조절함으로써 박막의 화학적 조성을 변화시킬 수 있다.
- [0023] 본 발명에 따른 단극성 수직형 다이오드는 자외선 감지특성이 매우 우수하며 이를 활용하면 UV-광전다이오드(photodiode) 및 자외선 영상촬영 카메라에 적용할 수 있다.
- [0024] 상기 UV-광전 다이오드는 유리 기판부가 표면을 향하게 하여 외부 자외선에 직접 노출되도록 한 구조로서 전극의 면적을 변화시켜 감지 감도 범위를 조절한다. UV-광전 다이오드는 자외선 집속을 위한 광학렌즈를 포함한다.
- [0025] 또한 자외선 영상촬영 카메라는 본 발명에서 제안한 상기 UV-광전다이오드의 크기를 미세하게 하여 픽셀 단위로 자외선을 감지, 각각의 광전다이오드에서 감지된 신호정보의 처리가 가능하도록 하는 집적형 소자를 포함한다.

[0026] 상기와 같은 본 발명의 단극성 수직형 투명 다이오드는 ZnMgO의 밴드갭 증가와 전기적 특성 변화를 이용하여 쇼트키 접합 특성을 향상시킴으로써 평판 디스플레이 장치나 모바일 전자기기에 많이 적용되는 투명전자 공학 기술에서 핵심적인 소자로 사용할 수 있는 효과가 있다.

발명의 실시를 위한 구체적인 내용

[0027] 이하에서 본 발명의 바람직한 실시형태를 실시예를 참고로 보다 구체적으로 설명한다. 하지만 본 발명의 범위가 이러한 실시예에 한정되는 것은 아니다.

[0028] 실시예 1 : 수직형 투명 다이오드의 제조

[0029] 본 실시예에서는 분무 열분해법을 이용하여 수직형 투명 다이오드를 제조하였다.

[0030] 초음파 분무 열분해법의 경우에는 초음파를 이용하여 증착 물질의 전구체 용액을 에어로졸(aerosol) 상태로 만든 다음, 이를 Ar 또는 N₂와 같은 비활성 수송기체(carrier gas)를 이용하여 가열된 기관 위로 이송시키게 된다. 본 실시예의 경우 원료물질의 전구체 용액으로 아세트산 아연(99.99 %)와 아세트산 마그네슘(99.9%) 및 아세틸아세트산 알루미늄(99.9 %)을 2메톡시에탄올에 용해시킨 것을 사용하였다. 상기 아세트산 아연과 아세트산 마그네슘은 각각 질산 아연과 질산 마그네슘 등의 다른 유기금속 물질로도 가능하다. 이들 전구체 용액은 박막의 원소 조성에 알맞게 각각의 원료물질들을 혼합비율에 맞추어 준비하였다.

[0031] ITO가 코팅된 기관은 박막 증착 전에 초음파 세척기로 각각 아세톤과 에틸알코올 용액을 사용하여 기관의 이물질을 제거하였다. Ar을 수송기체로 사용하였으며 기체 유량은 300-500 mL/min로 조정하였고, 기관의 온도는 350-420℃로 제어하였다. 박막의 증착 속도는 이러한 조건에서 약 5 nm/min 정도로 제어하였다.

[0032] 박막은 먼저 ZnO를 200-300 nm 정도의 두께를 갖도록 증착하였다. 다음에 g-ZnMgO층을 동일한 조건에서 200 nm 두께로 증착하는데, 박막 내의 Mg나 도핑 불순물의 양을 연속적으로 변화시키기 위해서 일정한 양의 Zn 전구체 용액에 일정한 비율로 Mg 전구체 용액을 연속적으로 공급함으로써, 전구체 용액의 성분 함량비를 제어하였다.

[0033] 실험예 1 : g-ZnMgO/ZnO 이중박막의 성분 깊이 분석

[0034] 본 실험예에서는 상기 실시예 1에 제조한 수직형 투명 다이오드에서 g-ZnMgO/ZnO 이중박막의 성분 깊이를 분석하였다.

[0035] 증착된 이중 박막의 성분 분석은 2차 이온질량분석법(Secondary Ion Mass Spectroscopy; SIMS)을 사용하였다. 박막 표면을 일정한 비율로 스퍼터링 방법으로 깎아 가면서 뿜겨져 나온 이온의 질량을 분석함과 동시에 각 이온에 대한 상대적인 강도를 분석하여 성분에 대한 정보를 구할 수 있었다.

[0036] 도 5에 도시한 바와 같이, Mg/Zn 와 Al/Zn 원소비는 박막 표면쪽으로 갈수록 증가하였고, ZnO박막 내부의 Mg양의 증가가 밴드갭을 증가시킴을 알 수 있다

[0037] 실험예 2 : g-ZnMgO/ZnO 이중박막의 구조 분석

[0038] 본 실험예에서는 상기 실시예 1에 제조한 수직 투명 다이오드에서 g-ZnMgO/ZnO 이중박막의 구조를 분석하였다.

[0039] 박막의 구조 분석에는 x-선 회절법(x-ray diffraction; XRD)을 이용하였는데, Mg의 함량이 증가하면서 표면 쪽에서는 구조적 변화가 생길 수 있기 때문에 스침각 x-선 회절법(grazing incidence XRD)을 함께 사용함으로써 박막의 깊이에 따른 구조의 변화를 추적할 수 있었다.

[0040] 도 6에 도시한 바와 같이, ITO 기관에 의한 회절선을 제외하면 모두 ZnO (0002) 및 ZnMgO (0002) 회절선만이 아주 강하게 관측된다. 이로써 ZnO 및 ZnMgO의 (0001)면이 기관과 나란하게 잘 정렬된 구조의 박막이 성장되었음을 알 수 있다. 이로써 (0001)-배향성이 뛰어난 ZnMgO/ZnO 이중박막이 증착되었음을 확인할 수 있다. 그리고 입방정계의 ZnMgO (c-ZnMgO) 상이 형성됨을 알 수 있는데, c-ZnMgO (111) 회절선이 아주 약하게 관

측된다. 깊이에 따른 구조 분석 결과를 도6의 안쪽에 나타내 보였는데, Mg 농도가 높은 표면 영역에서 입방정계 ZnMgO 상이 나타남을 볼 수 있다.

실험예 3 : ITO/g-ZnMgO/ZnO/ITO 투명 다이오드의 특성 분석

본 실시예에서는 상기 실시예 1에서 제조한 ITO/g-ZnMgO/ZnO/ITO 투명 다이오드의 특성을 분석하였다.

하기 식에 따라 다이오드의 순방향 전류 밀도(J)를 계산하였다.

$$J = A^{**} T^2 \exp\left(\frac{-q\Phi_B}{kT}\right) \left[\exp\left(\frac{qV}{nkT}\right) - 1 \right]$$

도 7에 도시한 바와 같이, ITO/g-ZnMgO/ZnO/ITO 투명 다이오드의 정과 특성은 g-ZnMgO 층의 전기적 성질을 변화시켜 제어할 수 있음을 알 수 있다.

하기 표 1에 나타낸 바와 같이, g-ZnMgO 박막과 이중구조를 만들면 ZnO 단일 박막의 경우보다 쇼트키 장벽에너지가 크게 증가했음을 알 수 있다. 또한 g-ZnMgO에 Al을 첨가하여 전기적 특성에 변화를 주면 다이오드 특성도 변화한다.

<표 1>

	유효 쇼트키 장벽에너지 FB (eV)	n	Turn-on 전압 (V)
ITO/ZnO/ITO	< 0.35	-	-
ITO/g-ZnMgO/ITO	0.61	4.1	1.4
ITO/g-ZnMgO:Al/ITO	0.58	2.2	0.6
Au/g-ZnMgO:Al/ITO	0.64	2.3	0.8

도 8의 ITO/g-ZnMgO/ZnO/ITO 이중 구조의 밴드 다이어그램에 나타낸 바와 같이, g-ZnMgO 박막의 표면 방향으로 연속적으로 증가하는 밴드갭은 유효 쇼트키 장벽에너지를 증가시킨다. g-ZnMgO의 표면은 ZnMgO 내부의 딥 트랩 레벨(deep trap levels)에 의한 캐리어 컴펜세이션(Carrier compensation) 효과 때문에 표면저항이 상당히 커진다. 이는 밴드를 위쪽으로 변형시켜 장벽높이를 증가시킨다. 위의 두가지 효과는 유효 쇼트키 장벽에너지를 증가시키는 결과를 주게 된다. 이러한 밴드 다이어그램은 본 발명의 수직형 투명 다이오드 특성을 잘 설명한다. 따라서 이러한 밴드 구조를 제어하면 다이오드 특성을 임의로 조절할 수 있다.

실험예 4 : ITO/g-ZnMgO/ZnO/ITO 투명 다이오드의 자외선 감지 특성 조사

본 실험예에서는 상기 실시예 1에서 제조한 ITO/g-ZnMgO/ZnO/ITO 투명 다이오드의 자외선 감지 특성을 조사하였다.

UV black light(370nm)를 자외선 광원으로 사용하여 ~400 mW/cm²로 7.85 X 10⁻⁵ cm²의 유효 면적으로 조사하였다.

자외선 감지 특성은 다이오드 특성을 조사하는 방법과 동일하게 다이오드 양단에 순방향/역방향 전압을 걸어주고 자외선을 차단한 상태에서의 전압-전류 특성과 자외선을 조사시킨 상태에서의 전압-전류 특성을 조사하여 비교하였다. 자외선을 차단한 상태에서는 다이오드의 역방향 전압에서 전하운반자의 농도가 작아서 전류가 매우 작게 흐르게 된다. 그러나 자외선이 조사되면 가전도대(valence band)의 전자들이 전도대(conduction band)로 여기되어 올라가서 전하운반자의 농도가 커지므로 역방향 전압에서도 큰 전류가 흐르게 된다. 이로써 역방향 전압에서 전류의 크기를 조사하게 되면, 자외선의 강도를 측정할 수 있다.

이러한 방법으로 측정한 결과, 9에 도시한 바와 같이, 본 발명에 따른 다이오드에 자외선을 쬔어주면 역방향 전류가 약 70배 가까이 증가함을 볼 수 있다. 유효면적을 감안하면 자외선 감지특성이 매우 우수하며

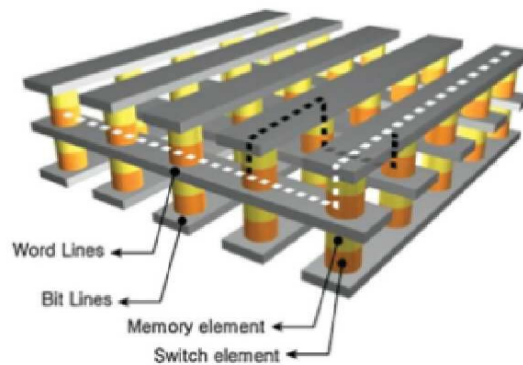
이를 활용하면 UV-광전다이오드 및 자외선 영상촬영 카메라에 적용할 수 있을 것으로 사료된다.

도면의 간단한 설명

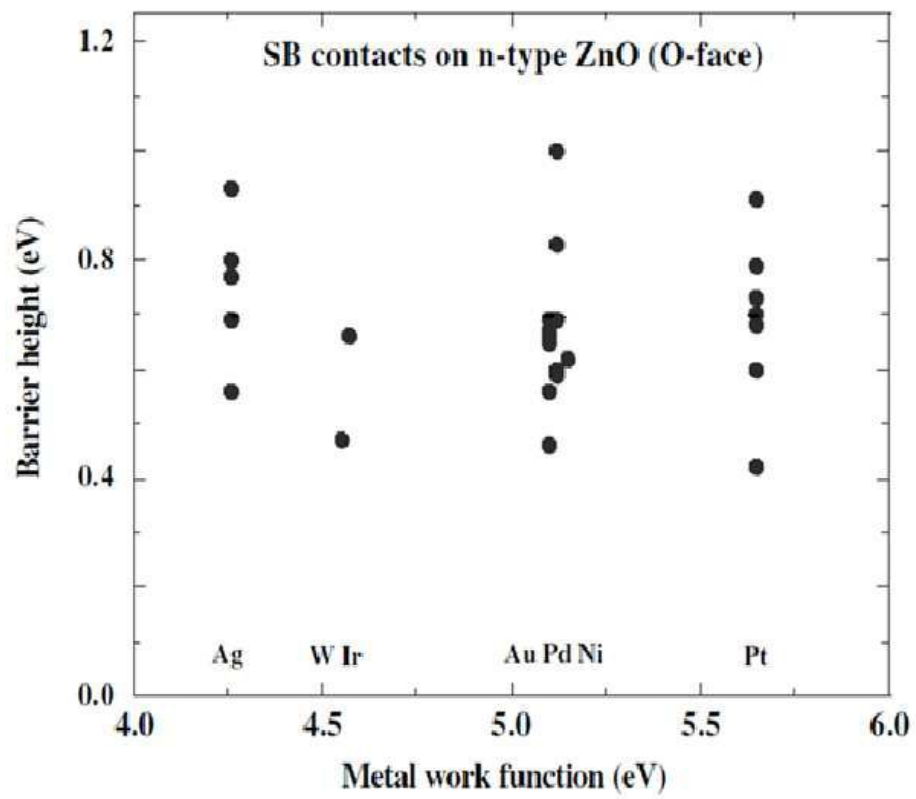
- [0055] 도 1은 종래의 수직형 헤테로 p-n접합 다이오드를 이용한 크로스-포인트 RRAM(cross-point RRAM)의 구성을 개략적으로 나타낸 도이다.
- [0056] 도 2는 산화물 반도체 ZnO와 쇼트키 접합에 있어 쇼트키 장벽과 전극 금속의 일함수 사이의 상관관계를 나타낸 그래프이다.
- [0057] 도 3은 본 발명에 따른 단극성 수직형 투명 다이오드의 구조를 개략적으로 나타낸 도이다.
- [0058] 도 4는 g-ZnMgO 박막 내부의 Mg 농도 기울기 변화를 나타낸 그래프이다.
- [0059] 도 5는 증착된 g-ZnMgO/ZnO 이중박막의 성분 깊이 분석 결과를 나타낸 그래프이다.
- [0060] 도 6은 증착된 g-ZnMgO/ZnO 이중박막의 구조 분석 결과를 나타낸 그래프이다.
- [0061] 도 7a 및 7b는 IT0/g-ZnMgO/ZnO/ITO 투명 다이오드의 특성 분석 결과를 나타낸 그래프이다.
- [0062] 도 8은 IT0/g-ZnMgO/ZnO/ITO 이중 구조의 밴드 다이어그램이다.
- [0063] 도 9는 IT0/g-ZnMgO/ZnO/ITO 투명 다이오드의 자외선 감지 특성을 나타낸 그래프이다.

도면

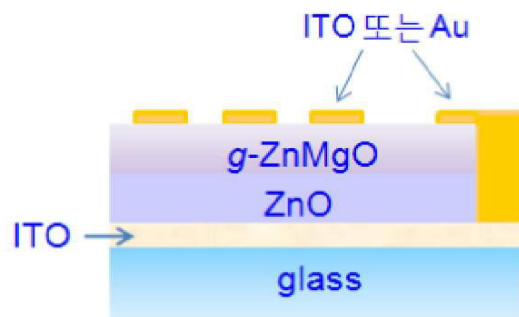
도면1



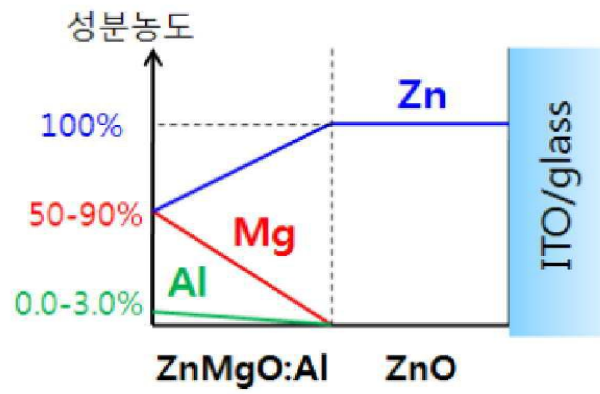
도면2



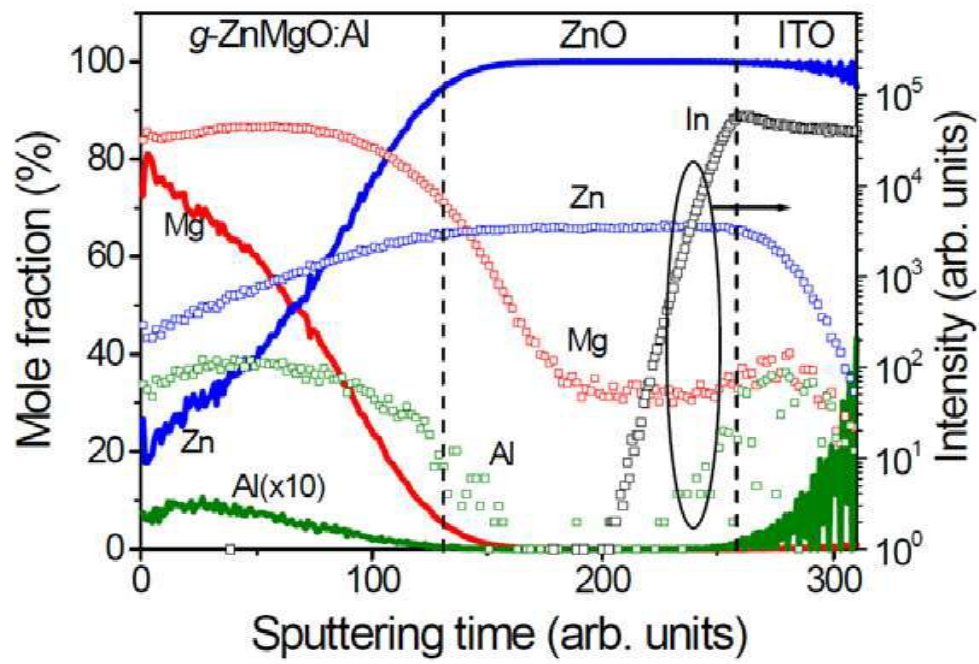
도면3



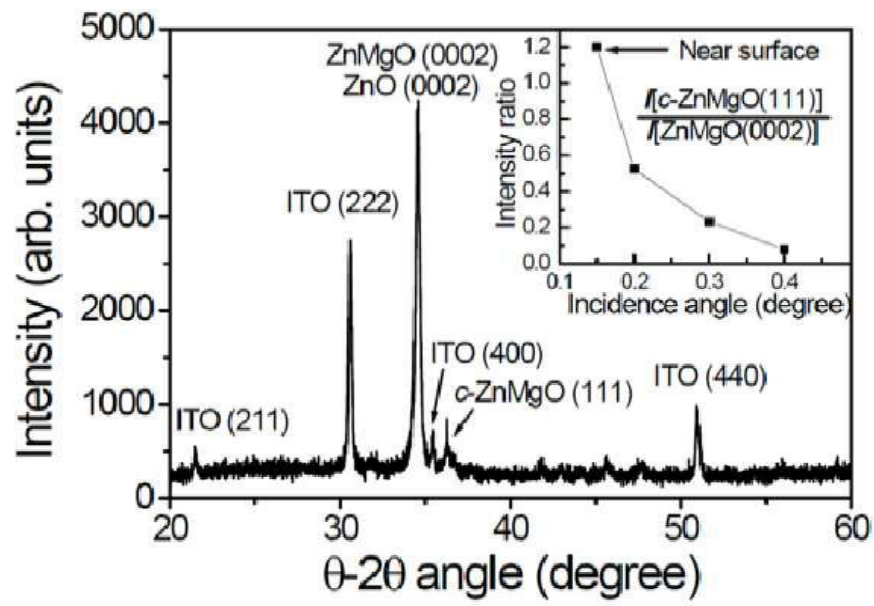
도면4



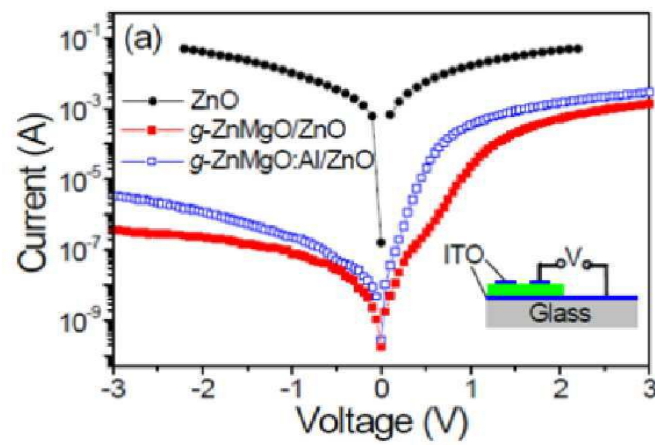
도면5



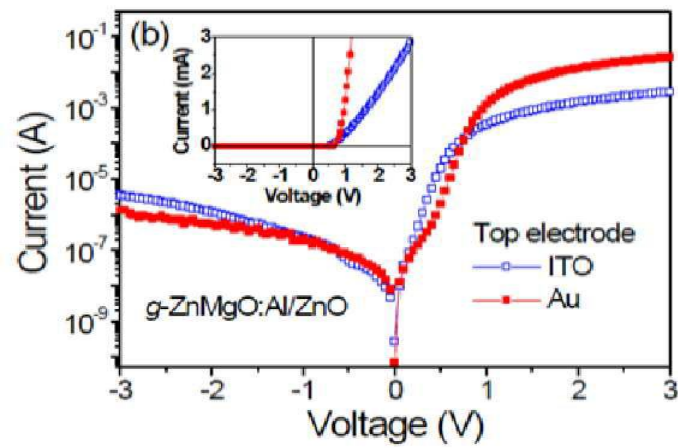
도면6



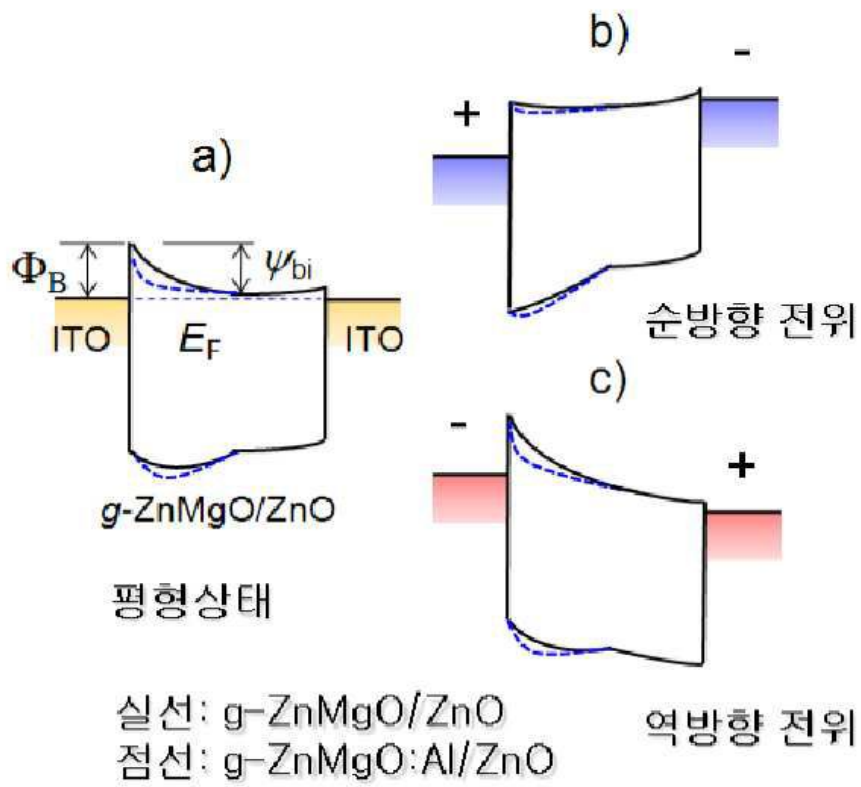
도면7a



도면7b



도면8



도면9

