



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2019-0057713
(43) 공개일자 2019년05월29일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
H01L 51/52 (2006.01) H01L 27/32 (2006.01)
H01L 29/786 (2006.01)
(52) CPC특허분류
H01L 51/5284 (2013.01)
H01L 27/3262 (2013.01)
(21) 출원번호 10-2017-0154996
(22) 출원일자 2017년11월20일
심사청구일자 없음

(71) 출원인
엘지디스플레이 주식회사
서울특별시 영등포구 여의대로 128(여의도동)
연세대학교 산학협력단
서울특별시 서대문구 연세로 50 (신촌동, 연세대학교)
(72) 발명자
김현재
서울시 마포구 마포대로 195 마포래미안푸르지오 402동 1101호
탁영준
서울특별시 서대문구 연희로8길 26, 504호(연희동, 아이비하우스)
(뒷면에 계속)
(74) 대리인
특허법인(유한) 대아

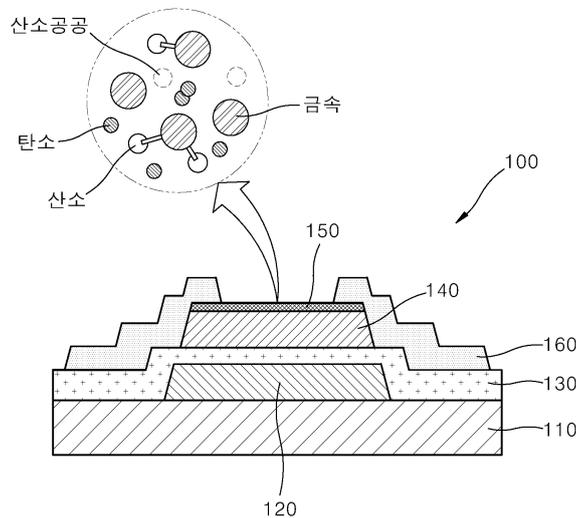
전체 청구항 수 : 총 11 항

(54) 발명의 명칭 **가시광 흡수율이 향상된 산화물 반도체 포토 트랜지스터 및 그 제조 방법**

(57) 요약

본 발명은 산화물 반도체 포토 트랜지스터에 용액 공정을 통해 결함이 있는 산화물 광 흡수층(Defective Oxide Ray Absorption Layer)을 도입하거나, 게이트 절연막과 산화물 반도체층 사이의 계면에 데미지(Damage)를 형성하는 계면 제어를 통해 결함이 있는 산화물 광 흡수부(Defective Oxide Ray Absorption Part)를 도입한 포토 트랜지스터와 그 제조 방법을 제공하여, 가시광 영역 대의 광 흡수 향상을 얻을 수 있다.

대표도 - 도3



(52) CPC특허분류

H01L 29/78618 (2013.01)

H01L 29/7869 (2013.01)

H01L 2924/13056 (2013.01)

(72) 발명자

정주성

서울특별시 서대문구 연희로6길 21, 402호(연희동)

문정민

경기도 과천시 월릉면 엘지로 245

최수석

경기도 과천시 월릉면 엘지로 245

유성필

경기도 과천시 월릉면 엘지로 245

정지환

경기도 과천시 월릉면 엘지로 245

장기석

경기도 과천시 월릉면 엘지로 245

명세서

청구범위

청구항 1

베이스 기판;

상기 베이스 기판 상에 배치된 게이트 전극;

상기 게이트 전극 상에 배치된 게이트 절연층;

상기 게이트 절연층 상에 배치된 산화물 반도체층 및

상기 산화물 반도체층 상에 배치된 소스 전극과 드레인 전극을 포함하고,

상기 산화물 반도체층의 적어도 일면에는 결함이 있는 산화물 광 흡수층(Defective Oxide Ray Absorption Layer)이 배치된 산화물 반도체 포토 트랜지스터.

청구항 2

제1항에 있어서,

상기 산화물 반도체층의 상부에 상기 산화물 광 흡수층이 배치되고, 상기 산화물 광 흡수층은 잔여 유기물과 불완전하게 배위된 산소 종들(Undercoordinated Oxygen Species)을 포함하는 산화물 반도체 포토 트랜지스터.

청구항 3

베이스 기판;

상기 베이스 기판 상에 배치된 게이트 전극;

상기 게이트 전극 상에 배치된 게이트 절연층;

상기 게이트 절연층 상에 배치된 산화물 반도체층 및

상기 산화물 반도체층 상에 배치된 소스 전극과 드레인 전극을 포함하고,

상기 산화물 반도체층의 적어도 일면에는 결함이 있는 산화물 광 흡수부(Defective Oxide Ray Absorption Part)가 구비된 산화물 반도체 포토 트랜지스터.

청구항 4

제3항에 있어서,

상기 산화물 반도체층의 하부면에 상기 결함이 있는 산화물 광 흡수부가 구비되고, 상기 결함이 있는 산화물 광 흡수부에는 거칠기(Roughness)가 부여된 산화물 반도체 포토 트랜지스터.

청구항 5

제1항 내지 제4항 중 어느 한 항에 있어서,

상기 산화물 반도체층은 InGaZnO로 이루어진 산화물 반도체 포토 트랜지스터.

청구항 6

베이스 기관 상에 게이트 전극을 형성하는 단계;

상기 게이트 전극 상에 게이트 절연층을 형성하는 단계;

상기 게이트 전극 상에 산화물 반도체층을 형성하는 단계;

상기 산화물 반도체층 상에 결함이 있는 산화물 광 흡수층(Defective Oxide Absorption Layer)을 형성하는 단계 및

상기 결함이 있는 산화물 광 흡수층 상에 소스 전극과 드레인 전극을 형성하는 단계를 포함하는 산화물 반도체 포토 트랜지스터의 제조 방법.

청구항 7

제6항에 있어서,

상기 결함이 있는 산화물 광 흡수층(Defective Oxide Absorption Layer)은 In nitrate ($\text{In}(\text{NO}_3)_3$) 전구체, Ga nitrate ($\text{Ga}(\text{NO}_3)_3 \cdot x\text{H}_2\text{O}$) 전구체 및 Zn nitrate ($\text{Zn}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$) 전구체를 포함하는 용액을 $150^\circ\text{C} \sim 400^\circ\text{C}$ 온도 범위에서 열처리하여 잔여 유기물과 불완전하게 배위된 산소 종들(Undercoordinated Oxygen Species)을 형성하는 산화물 반도체 포토 트랜지스터의 제조 방법.

청구항 8

제7항에 있어서,

상기 용액은 0.1M ~ 0.25M의 농도를 갖는 산화물 반도체 포토 트랜지스터의 제조 방법.

청구항 9

베이스 기관 상에 게이트 전극을 형성하는 단계;

상기 게이트 전극 상에 게이트 절연층을 형성하는 단계;

상기 게이트 절연층 표면을 에칭하여 거칠기를 부여하는 단계;

상기 게이트 절연층 상에 산화물 반도체층을 형성하는 단계; 및

상기 산화물 반도체층 상에 소스 전극과 드레인 전극을 형성하는 단계를 포함하는 산화물 반도체 포토 트랜지스터의 제조 방법.

청구항 10

제9항에 있어서,

상기 거칠기가 부여된 게이트 절연층 상에 상기 산화물 반도체층이 형성됨으로써, 상기 산화물 반도체층의 하부에도 거칠기가 부여되어 결함이 있는 산화물 광 흡수부(Defective Oxide Absorption Part)가 형성되는 산화물 반도체 포토 트랜지스터의 제조 방법.

청구항 11

제6항 내지 제10항 중 어느 한 항에 있어서,

상기 산화물 반도체층은 InGaZnO₂으로 이루어진 산화물 반도체 포토 트랜지스터의 제조 방법.

발명의 설명

기술 분야

[0001] 본 발명은 가시광 영역 대의 광 흡수율이 향상된 산화물 반도체 포토 트랜지스터 및 그 제조 방법에 대한 것이다.

배경 기술

[0003] 산화물 반도체는 실리콘 반도체 대비 낮은 누설 전류를 가지고 투명하면서 대면적 공정이 용이하다는 장점을 가지고 있어 최근 디스플레이 산업에서 각광을 받고 있다.

[0004] 특히 산화물 반도체는 비정질 실리콘에 비해서 높은 이동도, 투명성, 플렉서블 기판에의 적용 가능성뿐만 아니라 낮은 증착 온도와 같은 다양한 장점을 가지고 있기 때문에 최근에는 산화물 반도체를 포토 트랜지스터에 활용하고자 하는 노력들이 증가하고 있다.

[0006] 이러한 산화물 반도체의 많은 장점들 중에서도 특히 매우 낮은 누설 전류를 갖는다는 장점은 최근 가변 리프레시 레이트(Variable Refresh Rate, VRR)를 이용하여 화면이 꺼진 상태에서도 특정 정보를 항상 표시해주는 기능(Always-On-Display, AOD)의 개발에 크게 기여할 뿐 아니라, 다양한 센서 관련 어플리케이션(application) 분야로의 응용을 가능하게 하고 있다.

[0008] 도 1은 종래의 InGaZnO 산화물 반도체 포토 트랜지스터에 대한 구조를 나타내는 단면도이며, 도 2는 종래의 InGaZnO 산화물 반도체 포토 트랜지스터에 가시광을 조사한 경우에 따른 광 검출 성능을 측정한 그래프들이다.

[0009] 종래의 InGaZnO 산화물 반도체 포토 트랜지스터(1)는 도 1과 같이 베이스 기판(10) 상에 게이트 전극(20), 게이트 절연층(30), InGaZnO 산화물 반도체층(40), 소스/드레인 전극(50)이 차례대로 적층되는 구조를 가진다. 도 2는 이러한 종래의 InGaZnO 산화물 반도체 포토 트랜지스터 구조에 있어서, InGaZnO 산화물 반도체층(40)에 적색광, 녹색광, 청색광의 레이저(RGB Laser)를 조사한 경우에 따른 광 검출 성능을 측정한 그래프이다.

[0011] 보통 산화물 반도체는 보통 3eV 이상의 높은 밴드갭 에너지(Bandgap Energy)를 갖기 때문에 일반적인 종래의 산화물 반도체 포토 트랜지스터는 높은 에너지를 갖는 자외선 영역에서만 동작이 가능하다.

[0012] 즉 종래의 InGaZnO 산화물 반도체 포토 트랜지스터에 가시광이 조사되는 경우 산화물 반도체층의 서브갭 스테이트(sub-gap states) 내 산소 공공 결함을 통하여 낮은 파장 대역의 일부 가시광만 흡수가 가능하다.

[0014] 따라서 종래의 InGaZnO 산화물 반도체 포토 트랜지스터에 400nm ~ 700nm 파장 대역의 가시광을 조사하는 경우도 2(c)와 같이 3eV 이상의 높은 에너지 값을 갖는 낮은 파장 대역(405nm)의 청색광에만 반응을 하는 것을 확인할 수 있다.

[0016] 이에 반해 종래의 InGaZnO 산화물 반도체 포토 트랜지스터는 도 2(b)와 같이 청색광보다 더 낮은 에너지 값(2.33eV)과 높은 파장 대역(532nm)을 갖는 녹색광에는 아주 미세한 반응을 보이며, 도 2(a)와 같이 녹색광보다 더 낮은 에너지 값(1.95eV)과 높은 파장 대역(635nm)을 갖는 적색광에는 거의 반응을 보이지 않는 것을 확인할 수 있다.

[0018] 이에 따라 종래의 산화물 반도체 포토 트랜지스터에 추가적으로 양자점(Quantum Dot), 2D 물질, 나노 와이어 등과 같은 다양한 물질들로 구성된 별도의 광 흡수층의 삽입을 통한 광 민감도 향상을 피하여 가시광 영역에서도

동작이 가능한 포토 트랜지스터를 제작하려는 노력을 하고 있다.

[0019] 예를 들어, 유기물(PBDTT-DPP: PCBM) 흡수층이 추가된 포토 트랜지스터, 양자점(Quantum Dot) 흡수층이 추가된 포토 트랜지스터, 은 나노 파티클(Ag nano particle) 흡수층이 추가된 포토 트랜지스터들을 일 예로 들 수 있다.

[0021] 하지만 상기 추가적인 광 흡수층을 구성하는 물질들은 대면적 기판에서 높은 균일도를 갖도록 증착하기가 힘들고, 제조공정 또한 매우 복잡하여 상대적으로 높은 제작 가격을 가지며, 산화물 반도체층과 호환성이 낮은 문제점을 가지고 있다.

발명의 내용

해결하려는 과제

[0023] 본 발명은 전술한 문제점을 해결하기 위한 것으로, 높은 밴드갭(Bandgap)으로 인하여 가시광 영역 대의 광을 흡수하지 못하는 종래의 산화물 반도체 포토 트랜지스터의 가시광 영역 대의 광 흡수율을 향상시키는 것을 목적으로 한다.

[0025] 또한 본 발명은 층 간의 균일성(Uniformity) 문제를 해결되면서도 대면적의 디스플레이에도 쉽게 적용이 가능한 산화물 반도체 포토 트랜지스터를 제공하는 것을 또 다른 목적으로 한다.

[0027] 아울러 본 발명은 제작 공정을 매우 단순화하여 제조 공정상의 효율을 극대화하면서도 가시광 영역 대의 광 흡수율을 향상시킬 수 있는 산화물 반도체 포토 트랜지스터를 제공하는 것을 또 다른 목적으로 한다.

과제의 해결 수단

[0029] 본 발명은 상기의 목적을 달성하기 위하여 다음과 같이 InGaZnO₂로 이루어진 산화물 반도체층의 적어도 일면에 결함이 있는 산화물 광 흡수층(Defective Oxide Absorption Layer) 또는 산화물 광 흡수부(Defective Oxide Absorption Part)가 구비된 산화물 반도체 포토 트랜지스터 및 그 제조 방법을 제공한다.

[0031] 구체적으로 본 발명은 일 실시예로 베이스 기판, 베이스 기판 상에 배치된 게이트 전극, 게이트 전극 상에 배치된 게이트 절연층, 게이트 절연층 상에 배치된 산화물 반도체층 및 산화물 반도체층 상에 배치된 소스 전극과 드레인 전극을 포함하고, 산화물 반도체층의 적어도 일면에는 결함이 있는 산화물 광 흡수층(Defective Oxide Absorption Layer)이 배치된 산화물 반도체 포토 트랜지스터를 제공한다. 이 때 산화물 반도체층의 상부에 상기 산화물 광 흡수층이 배치되고, 산화물 광 흡수층은 잔여 유기물과 불완전하게 배워진 산소 종들(Undercoordinated Oxygen Species)을 포함한다.

[0033] 상기 일 실시예에 따른 본 발명은 베이스 기판 상에 게이트 전극을 형성하는 단계, 게이트 전극 상에 게이트 절연층을 형성하는 단계, 게이트 전극 상에 산화물 반도체층을 형성하는 단계, 산화물 반도체층 상에 결함이 있는 산화물 광 흡수층(Defective Oxide Absorption Layer)을 형성하는 단계 및 결함이 있는 산화물 광 흡수층 상에 소스 전극과 드레인 전극을 형성하는 단계를 포함하는 산화물 반도체 포토 트랜지스터의 제조 방법을 제공한다. 이 때 결함이 있는 산화물 광 흡수층(Defective Oxide Absorption Layer)은 In nitrate (In(NO₃)₃) 전구체, Ga nitrate (Ga(NO₃)₃·xH₂O) 전구체 및 Zn nitrate (Zn(NO₃)₂·6H₂O) 전구체를 포함하는 용액을 150℃ ~ 400℃ 온도 범위에서 열처리하여 잔여 유기물과 불완전하게 배워진 산소 종들(Undercoordinated Oxygen Species)을 형성한다. 이 때 상기 용액은 0.1M ~ 0.25M의 농도를 갖는다.

[0035] 또한 본 발명은 또 다른 일 실시예로 베이스 기판, 베이스 기판 상에 배치된 게이트 전극, 게이트 전극 상에 배치된 게이트 절연층, 게이트 절연층 상에 배치된 산화물 반도체층 및 산화물 반도체층 상에 배치된 소스 전극과 드레인 전극을 포함하고, 산화물 반도체층의 적어도 일면에는 결함이 있는 산화물 광 흡수부(Defective Oxide Absorption Part)가 구비된 산화물 반도체 포토 트랜지스터를 제공한다. 이 때 산화물 반도체층의 하부면에 결함이 있는 산화물 광 흡수부가 구비되고, 결함이 있는 산화물 광 흡수부에는 거칠기(Roughness)가 부여된다.

[0037] 상기 또 다른 일 실시예에 따른 본 발명은 베이스 기판 상에 게이트 전극을 형성하는 단계, 게이트 전극 상에 게이트 절연층을 형성하는 단계, 게이트 절연층 표면을 에칭하여 거칠기를 부여하는 단계, 게이트 절연층 상에 산화물 반도체층을 형성하는 단계 및 산화물 반도체층 상에 소스 전극과 드레인 전극을 형성하는 단계를 포함하는 산화물 반도체 포토 트랜지스터의 제조 방법을 제공한다. 이 때 거칠기가 부여된 게이트 절연층 상에 산화물 반도체층이 형성됨으로써, 산화물 반도체층의 하부에도 거칠기가 부여되어 결함이 있는 산화물 광 흡수부(Defective Oxide Absorption Part)가 형성된다.

발명의 효과

[0039] 본 발명에 따르면 비교적 간단한 공정인 용액 공정을 통해 가시광선의 흡수가 가능한 결함이 있는 산화물(Defective Oxide) 박막을 광 흡수층으로 추가하여 산화물 반도체 포토 트랜지스터의 가시광에 대한 반응성을 높여주는 효과가 있다.

[0041] 또한 본 발명에 따른 산화물 반도체 포토 트랜지스터는 균일성(Uniformity) 문제가 획기적으로 해결되면서도 대면적의 디스플레이에도 쉽게 적용이 가능한 효과가 있다.

[0043] 아울러 본 발명에 따른 산화물 반도체 포토 트랜지스터는 게이트 절연층의 에칭만으로도 산화물 반도체층과 게이트 절연층 사이의 계면에 서브갭 스테이트(Sub-Gap States)를 형성시키는 방법을 제공하여 가시광에 대한 반응성을 높일 수 있는 바, 제작 공정을 매우 단순화하여 제조 공정상의 효율을 극대화할 수 있는 효과가 있다.

도면의 간단한 설명

- [0045] 도 1은 종래의 IGZO 산화물 반도체 포토 트랜지스터에 대한 단면도이다.
- 도 2는 종래의 광 흡수층이 없는 InGaZnO 포토 트랜지스터의 RGB laser조사에 따른 전달 특성 변화를 나타낸 그래프이다.
- 도 3은 본 발명의 일 실시예에 IGZO 산화물 반도체 포토 트랜지스터 및 제조 방법에 대한 도면이다.
- 도 4는 용액 공정을 통해 제작된 InGaZnO의 광 흡수층 코팅 후, 열처리 온도에 따른 InGaZnO 포토 트랜지스터의 전달 특성 변화를 나타내는 그래프이다.
- 도 5는 200의 열처리를 한 용액 공정을 통해 제작된 광 흡수층을 포함하는 InGaZnO 포토 트랜지스터의 RG laser 조사에 따른 전달 특성 변화를 나타내는 그래프이다.
- 도 6은 300의 열처리를 한 용액 공정을 통해 제작된 광 흡수층을 포함하는 InGaZnO 포토 트랜지스터의 RG laser 조사에 따른 전달 특성 변화를 나타내는 그래프이다.
- 도 7은 0.1M의 용액 공정을 통해 제작된 광 흡수층을 포함하는 InGaZnO 포토 트랜지스터의 RG laser조사에 따른 전달 특성 변화를 나타내는 그래프이다.
- 도 8은 0.3M의 용액 공정을 통해 제작된 광 흡수층을 포함하는 InGaZnO 포토 트랜지스터의 전달 특성 변화를 나타내는 그래프이다.

도 9는 본 발명의 다른 일 실시예에 따른 IGZO 산화물 반도체 포토 트랜지스터에 대한 도면이다.

도 10은 게이트 절연층의 에칭 시간에 따른 UV-vis analysis이다.

도 11은 본 발명의 다른 일 실시예에 따라 게이트 절연층을 3초간 에칭시킨 후 제조된 InGaZnO 포토 트랜지스터의 RGB laser조사에 따른 전달 특성 변화를 나타내는 그래프이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

- [0046] 이하, 첨부된 도면을 참조하여 본 발명에 따른 실시예들을 상세히 설명하기로 한다. 도면에서 동일한 참조부호는 동일 또는 유사한 구성요소를 가리키는 것으로 사용된다.
- [0047] 이하에서 기재의 "상부 (또는 하부)" 또는 기재의 "상 (또는 하)"에 임의의 구성이 구비 또는 배치된다는 것은, 임의의 구성이 상기 기재의 상면 (또는 하면)에 접하여 구비 또는 배치되는 것을 의미할 뿐만 아니라, 상기 기재와 기재 상에 (또는 하에) 구비 또는 배치된 임의의 구성 사이에 다른 구성을 포함하지 않는 것으로 한정하는 것은 아니다.
- [0048] 어떤 구성 요소가 다른 구성요소에 "연결", "결합" 또는 "접속"된다고 기재된 경우, 그 구성 요소는 그 다른 구성요소에 직접적으로 연결되거나 또는 접속될 수 있지만, 각 구성 요소 사이에 다른 구성 요소가 "개재"되거나, 각 구성 요소가 다른 구성 요소를 통해 "연결", "결합" 또는 "접속"될 수도 있다고 이해되어야 할 것이다.
- [0050] 본 발명은 다음과 같이 결합이 있는 산화물 광 흡수층(Defective Oxide Ray Absorption Layer) 또는 결합이 있는 산화물 광 흡수부(Defective Oxide Ray Absorption Part)를 구비하는 산화물 반도체 포토 트랜지스터 및 그 제조 방법을 제공한다.
- [0051] 첫째 본 발명의 일 실시예로 산화물 반도체 포토 트랜지스터에 용액 공정 기반의 산화물 광 흡수층을 도입한 포토 트랜지스터와 그 제조 방법을 제공한다.
- [0052] 둘째 본 발명의 또 다른 일 실시예로 게이트 절연막과 산화물 반도체층 사이의 계면에 데미지(Damage)를 형성하는 것과 같은 계면 제어를 통해 광 흡수층을 도입한 포토 트랜지스터와 그 제조 방법을 제공하여, 가시광 영역대의 광 흡수 향상을 얻을 수 있다.
- [0054] 먼저 본 발명의 일 실시예인 용액 공정 기반의 산화물 광 흡수층을 도입한 포토 트랜지스터(100)는 도 3에서와 같이 베이스 기판(110), 베이스 기판(110) 상에 배치된 게이트 전극(120), 게이트 전극(120) 상에 배치된 게이트 절연층(130), 게이트 절연층(130) 상에 배치된 산화물 반도체층(140) 및 산화물 반도체층(140) 상에 배치된 소스 전극(160)과 드레인 전극(160)을 포함하고, 산화물 반도체층의 적어도 일면에는 결합이 있는 산화물 광 흡수층(Defective Oxide Ray Absorption Layer, 150)이 배치된다.
- [0055] 본 발명의 베이스 기판, 게이트 전극, 게이트 절연층, 산화물 반도체층 및 소스 전극과 드레인 전극의 제조 방법과 적층 구조는 본 기술 분야의 통상의 지식을 가진 자에게 알려진 것으로 적용이 가능한 바 이에 대한 자세한 설명은 생략하고 본 발명의 주요 기술적 특징을 중심으로 해서 설명하도록 한다.
- [0057] 산화물 반도체층의 적어도 일면에 결합이 있는 산화물 광 흡수층이 배치될 수 있으나, 가시광을 직접 조사받을 수 있는 산화물 반도체층의 상부에 결합이 있는 산화물 광 흡수층을 형성하는 것이 바람직하다.
- [0059] 결합이 있는 산화물 흡수층(Defective Oxide Absorption Layer)은 In nitrate ($\text{In}(\text{NO}_3)_3$) 전구체, Ga nitrate ($\text{Ga}(\text{NO}_3)_3 \cdot x\text{H}_2\text{O}$) 전구체 및 Zn nitrate ($\text{Zn}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$) 전구체를 포함하는 용액을 150℃ ~ 400℃ 온도 범위에서 열처리하여 잔여 유기물과 불완전하게 배위된 산소 종들(Undercoordinated Oxygen Species)을 형성할 수 있다. 이 때 잔여 유기물은 용매가 완전히 증발(Evaporation)되지 못하여 생성된다. 예를 들어 2-methoxyethanol($\text{C}_3\text{H}_8\text{O}_2$)을 용매로 사용하는 경우 2-methoxyethanol($\text{C}_3\text{H}_8\text{O}_2$)이 어닐링 과정에서 분해되고 증발되지 못하여 잔여 유기물이 생성된다. 이는 푸리에 변환 적외 분광 광도계(FT-IR) 분석 등을 통해서 C=C, CH 결합의

흡수도(Absorbance)를 측정하여 파악할 수 있다. 잔여 유기물은 산화물 반도체의 밴드갭내에 서브갭 스테이트(sub-gap states)를 증가시켜 기존 넓은 밴드갭에 의해 흡수되지 못하는 장파장의 빛 또한 흡수할 수 있도록 해준다.

- [0061] 본 발명은 잔여 유기물과 불완전하게 배워된 산소 종들(Undercoordinated Oxygen Species)을 포함하는 결합을 갖는 산화물 광 흡수층을 형성하는데, 도 3에서 다수의 산소 공공(Oxygen Vacancy)과 탄소를 포함하는 잔여 유기물들의 존재를 확인할 수 있다.
- [0063] 이 때 상기 열처리 온도가 150℃ 미만인 경우에는 광 흡수층 내에 상당히 많은 잔여 유기물이 남기 때문에 전달 특성이 제대로 나오지 않을 수 있다. 또한 열처리 온도가 400℃를 넘어가는 경우에는 잔여 유기물이 거의 남지 않기 때문에 광 흡수의 효과가 대폭 감소하게 된다.
- [0065] 아울러 상기 진구체들을 포함하는 용액은 0.1M ~ 0.25M의 농도를 갖는 것이 바람직한데, 0.1M 미만의 농도의 용액으로 산화물 광 흡수층을 형성하는 경우 광 흡수층의 두께가 대폭 줄어 들어 면적당 흡수하는 광의 양이 감소하기 때문에 광 흡수의 효과를 보기가 어렵다.
- [0066] 아울러 0.25M 초과 농도의 용액으로 산화물 광 흡수층을 형성하는 경우에는 광 흡수층의 두께가 너무 두꺼워져서 소스/드레인 전극과 채널층 사이의 전자의 흐름을 방해하기 때문에 온 전류(On-current) 영역에서 높은 누설(Leakage)가 발생하여 전류 값이 제대로 나오지 않는 단점이 있다.
- [0068] 다음으로 본 발명의 또 다른 일 실시예인 게이트 절연막과 산화물 반도체층 사이의 계면에 데미지(Damage)를 형성하는 계면 제어를 통해 광 흡수층을 도입한 포토 트랜지스터(200)는 도 9에서와 같이 베이스 기판(210), 베이스 기판(210) 상에 배치된 게이트 전극(220), 게이트 전극(220) 상에 배치된 게이트 절연층(230), 게이트 절연층(230) 상에 배치된 산화물 반도체층(250) 및 산화물 반도체층(250) 상에 배치된 소스 전극(260)과 드레인 전극(260)을 포함하고, 산화물 반도체층(250)의 적어도 일면에는 결합이 있는 산화물 광 흡수부(Defective Oxide Absorption Part, 240)가 구비된다.
- [0070] 구체적으로는 산화물 반도체층의 하부면에 결합이 있는 산화물 광 흡수부가 구비되고, 결합이 있는 산화물 광 흡수부에는 거칠기(Roughness)가 부여되는 것이 바람직하다.
- [0071] 이 때 산화물 반도체층의 하부면에 결합이 있는 산화물 광 흡수부는 게이트 절연층 표면을 에칭하여 게이트 절연층 표면에 거칠기를 부여함으로써 산화물 광 흡수부에도 거칠기를 부여하게 된다.
- [0072] 즉 게이트 절연층 표면을 에칭하는 경우 거칠기가 부여되는데, 거칠기가 부여된 게이트 절연층 표면 상에 바로 산화물 반도체층을 적층하기 때문에 게이트 절연층의 표면과 접촉하는 산화물 반도체층의 하부면에도 거칠기가 부여될 수 있는 것이다.
- [0074] 이하에서는 본 발명에 대한 실험예를 통해서 실시예와 비교예를 비교하여 자세히 설명하도록 한다.
- [0076] 제1 실험예
- [0077] 본 발명의 제1 실험예에 따른 포토 트랜지스터는 IGZO 박막 트랜지스터를 기반으로 형성하였다. InGaZnO 산화물 박막은 In:Ga:Zn의 비율이 1:1:1인 스퍼터링 타겟(Sputtering Target)을 통해 열 산화물(Thermal Oxide) SiO₂가 성장된 p+-Si 기판 위에 스퍼터를 사용하여 증착하였다.
- [0079] 구체적으로 SiO₂/p+-Si 기판은 아세톤과 메탄올 순으로 초음파 세척을 각각 10분씩 실시한 뒤에 질소건

(Nitrogen Gun)을 이용하여 기판을 블로잉(Blowing) 해주었다. 그 이후에 아르곤(Ar) 증착 분위기 하에서 작업 압력(working pressure)은 5mTorr로 하여 InGaZnO의 박막을 스퍼터를 이용하여 5분 동안 증착하였다. 그 결과 대략 40nm의 두께를 갖는 InGaZnO의 산화물 반도체층이 제조되었다. 그 이후 활성화(Activation)를 위하여 300 °C 이상의 후 열처리 공정을 진행하였다.

[0081] 본 발명에 따른 용액 공정 기반 산화물 광 흡수층인 IGZO 박막은 다음과 같이 형성하였다. 먼저 In nitrate ($\text{In}(\text{NO}_3)_3$), Ga nitrate ($\text{Ga}(\text{NO}_3)_3 \cdot x\text{H}_2\text{O}$), Zn nitrate ($\text{Zn}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$) 전구체를 이용하여, 몰비는 In:Ga:Zn = 5:2:1로 하고, 2-methoxyethanol의 용매를 이용하여 0.2M의 InGaZnO 산화물 용액을 제조하였다. 상기 제조된 용액은 앞서 제작한 스퍼터 기반의 InGaZnO 산화물 반도체층 상에 3000rpm으로 30s동안 진행한 스핀 코팅을 통하여 증착하였다.

[0083] 그 다음 상기 스핀 코팅된 용액은 광 흡수층의 박막 형성을 위한 열처리를 진행하였는데 각각 100°C, 200°C, 300°C의 온도를 인가하여 박막 내부에 잔여 유기물과 불완전하게 배워진 산소 종들(Undercoordinated Oxygen Species)을 만들어 가시광선의 흡수가 가능한 결함 산소층(Defective Oxide Layer)을 형성하였다.

[0085] 마지막으로 소스 전극과 드레인 전극을 증착하기 위해서, 새도우 마스크(Shadow Mask)와 열증착법(Thermal Evaporation)을 통해 채널의 두께/길이(Width/Length)를 1500 μm /100 μm 으로 제한시킨 뒤 200nm 두께의 알루미늄(Al)을 증착하였다.

[0087] 도 4는 용액 공정을 통해 형성된 광 흡수층의 박막 형성 온도에 따른 InGaZnO 포토 트랜지스터의 전달 특성(Transfer Characteristics)을 나타내는 그래프이다. 먼저 박막 형성 온도가 100°C일 때의 비교예 2는 광 흡수층 내에 상당히 많은 잔여 유기물이 남기 때문에 전달 특성이 제대로 나오지 않는 것을 확인할 수 있다. 하지만 광 흡수층의 박막 형성 온도가 각각 200°C인 실시예 1과 300°C인 실시예 2인 경우에는 광 흡수층이 없는 InGaZnO 포토트랜지스터와 비슷한 전달 특성을 갖는 것을 확인할 수 있었다.

[0089] 앞서 설명하였던 도 2는 비교예 1에 대한 것으로, 광 흡수층이 없는 InGaZnO 산화물 반도체층 포토 트랜지스터의 적색(Red), 청색(Blue), 녹색(Green)광 레이저 조사에 따른 전달 특성 변화를 나타내는 그래프이다. 각각의 전달 특성들은 레이저의 강도(Intensity)를 1mW, 3mW, 5mW, 10mW로 바꿔가면서 측정하였다.

[0090] 비교예 1에서 확인할 수 있는 것처럼 광 흡수층이 없는 InGaZnO 산화물 반도체층 포토 트랜지스터의 경우, InGaZnO 산화물 반도체층의 높은 밴드갭으로 인하여 적색광과 녹색광의 레이저 조사에서는 전달 특성의 변화가 거의 없으나, 청색광의 경우에는 높은 에너지로 인하여 산화물 반도체층 박막 내의 이온화된 산소 결핍(Ionized Oxygen Vacancy)의 형성으로 크게 오프 전류(Off-Current)가 변하는 것을 확인할 수 있었다.

[0092] 도 5는 실시예 1에 대한 것으로, 용액 공정으로 광 흡수층의 제작시 박막 형성 온도를 200°C로 한 InGaZnO 포토 트랜지스터의 적색광, 녹색광 레이저 조사에 따른 전달 특성 변화를 나타내는 그래프이다. 청색광 레이저의 경우 도 2에서와 같이 광 흡수층이 없는 InGaZnO 포토 트랜지스터에서도 반응을 하였던 바 이하 실험예에서는 청색광에 대한 전달 특성은 추가로 실험하지 않았다.

[0093] 도 5(a)는 적색광을 조사한 것이고, 도 5(b)는 녹색광을 조사한 것인데, 광의 강도가 높아질수록 문턱 전압이 음의 방향으로 쉬프트(Shift)하고 오프 전류가 증가하는 것을 확인할 수 있다. 이는 상대적으로 광 흡수층 박막 내부의 잔여 유기물과 낮은 금속 산소의 결합에 기인한 불완전하게 배워진 산소 종들(Undercoordinated Oxygen Species)에서 적색광 녹색광을 흡수하여 전자와 정공을 만들고, 형성된 캐리어들이 채널층인 산화물 반도체층으로 이동하기 때문에 발생하는 변화이다.

[0095] 도 6은 실시예 2에 대한 것으로, 용액 공정으로 광 흡수층의 제작시 박막 형성 온도를 300°C로 한 InGaZnO 포토

트랜지스터의 적색광, 녹색광 레이저 조사에 따른 전달 특성 변화를 나타내는 그래프이다.

- [0096] 도 6(a)는 적색광을 조사한 것이고, 도 6(b)는 녹색광을 조사한 것인데, 본 실시예에 따른 InGaZnO 포토 트랜지스터의 경우에도 광의 강도가 높아질수록 문턱 전압이 음의 방향으로 쉬프트(Shift)하고 오프 전류가 증가하는 것을 확인할 수 있다. 따라서 도 2의 광 흡수층이 없는 비교예와 대비하여 적색광과 녹색광에 대한 반응성을 갖는 것을 확인할 수 있다.
- [0098] 도 7은 실시예 3에 대한 것으로, 실시예 1에서 광 흡수층 용액을 0.1M로 하는 것 이외에는 동일하게 제조한 광 흡수층을 구비하는 InGaZnO 포토 트랜지스터의 적색광, 녹색광 레이저 조사에 따른 전달 특성 변화를 나타내는 그래프이다. 광 흡수층의 열처리는 실시예 1과 동일하게 200℃에서 진행하였다.
- [0099] 도 7(a)는 적색광을 조사한 것이고, 도 7(b)는 녹색광을 조사한 것인데, 본 실시예에 따른 InGaZnO 포토 트랜지스터의 경우에도 광의 강도가 높아질수록 문턱 전압이 음의 방향으로 쉬프트(Shift)하고 오프 전류가 증가하는 것을 확인할 수 있다. 따라서 도 2의 광 흡수층이 없는 비교예와 대비하여 적색광과 녹색광에 대한 반응성을 갖는 것을 확인할 수 있다.
- [0100] 다만 0.2M의 용액으로 광 흡수층을 제조한 실시예 1에 비해 다소 낮은 문턱전압 쉬프트와 오프 전류 변화를 갖는데, 이는 실시예 3의 경우 0.1M의 용액으로 광 흡수층을 제조한 것이기 때문에 0.2M의 용액으로 광 흡수층을 제조한 실시예 1에 비해 광 흡수층의 두께가 줄어들어 면적당 흡수하는 빛의 양이 다소 감소했기 때문이다.
- [0102] 도 8은 비교예 3에 대한 것으로, 실시예 1에서 광 흡수층 용액을 0.3M로 하는 것 이외에는 동일하게 제조한 광 흡수층을 구비하는 InGaZnO 포토 트랜지스터의 전달 특성 변화를 나타내는 그래프이다. 광 흡수층의 열처리는 실시예 1과 동일하게 200℃에서 진행하였다.
- [0103] 비교예 3의 경우 0.3M의 용액으로 광 흡수층 박막을 형성하기 때문에 0.2M의 용액을 이용한 실시예 1 대비 광 흡수층의 두께가 약 10nm 정도 증가한다. 이렇게 증가된 두께를 갖는 광 흡수층은 소스/드레인 전극과 반도체층인 채널층 사이에 위치하여 광을 흡수하는 역할을 할 뿐만 아니라 전자의 흐름을 방해하기도 하기 때문에 온 전류(On-Current)영역에서 높은 누설(Leakage)이 발생하여 전류 값이 제대로 나오지 않는 것을 확인할 수 있다.
- [0105] 제2 실험예
- [0106] 본 발명의 제2 실험예에 따른 포토 트랜지스터는 IGZO 박막 트랜지스터를 기반으로 형성하였다. 게이트 절연층의 에칭을 통해 가시광선 영역을 검출하는 포토 트랜지스터를 제작하기 위하여 불산(HF)과 불화암모늄(NH₄F)을 섞은 BOE(Buffered Oxide Etchant)로 SiO₂ 게이트 절연층을 에칭하였다.
- [0108] 구체적으로 실시예 4에 따른 포토 트랜지스터 제작을 위해 게이트 전극과 게이트 절연층은 p+가 도핑된 실리콘(Si) 기판 위에 열적으로 성장(Thermally Grown)된 SiO₂가 성장된 기판을 준비하였다.
- [0109] 다음으로 게이트 절연층의 에칭을 위해 HF와 NH₄F가 1:7로 섞인 BOE를 사용하였으며 에칭률(Etching Rate)을 조절하기 위하여 BOE:DI water 비율이 1:10이 되도록 DI water를 섞어 사용하였다. 포토 트랜지스터의 채널층은 In₂O₃-Ga₂O₃-ZnO의 몰 비가 1:1:1인 3인치 타겟을 사용하여 RF 스퍼터링(Sputtering) 공정을 통해 IGZO 반도체층을 제작하였으며, 핫 플레이트 온도 300℃에서 1시간 동안 열처리를 하였다.
- [0110] 마지막으로 소스 전극과 드레인 전극을 증착하기 위해서 열증착법(Thermal Evaporation)을 통해 알루미늄(Al)을 200nm 두께로 증착하였다. 비교예 4의 경우 게이트 절연층을 에칭하는 단계를 제외하고는 상기 실시예 4와 동일한 조건으로 제작하였다.
- [0112] 도 10은 게이트 절연층을 에칭시킨 후, 게이트 절연층 상에 산화물 반도체층인 IGZO를 증착한 경우에 있어서, 에칭 시간에 따른 가시광선의 흡수 정도를 UV-visible analysis로 분석한 결과이다. 게이트 절연층의 에칭 후에

IGZO 반도체층을 증착하였을 때 흡광도의 변화를 확인하기 위하여 0초, 1초, 2초, 3초, 4초 시간에 따라 게이트 절연층의 에칭을 진행하였다. 이 때 0초, 1초, 2초, 3초, 4초 시간동안 에칭을 한 것은 각각 비교예1, 비교예 4, 실시예 4, 실시예 5, 비교예 5에 해당한다.

- [0113] 도 10을 참조하면 게이트 절연층을 3초 동안 에칭시킨 실시예 5의 경우에 IGZO의 가시광 흡수도가 가장 높고, 2초 동안 에칭시킨 실시예 4의 경우에도 실시예 5의 경우처럼 매우 높은 가시광 흡수도를 갖는 것을 확인할 수 있다.
- [0115] 도 11은 본 발명의 실시예 5에 대한 것으로, 게이트 절연층을 3초간 에칭시킨 후 InGaZnO 산화물 반도체층 포토 트랜지스터의 적색(Red), 청색(Blue), 녹색(Green)광 레이저 조사에 따른 전달 특성 변화를 나타내는 그래프이다.
- [0116] 도 11(a) 에서와 같이 적색광의 강도를 변화시키면서 쪼여주는 경우, 전혀 변화가 없었던 비교예 1의 도 2(a)와 비교했을 때 포토 트랜지스터의 전달 곡선(Transfer Curve)은 강도가 증가할수록 문턱 전압이 음의 방향으로 움직이고, 오프 전류의 값이 증가하는 것을 확인할 수 있다.
- [0117] 또한 도 11(b) 와 같은 녹색광의 경우에도 강도를 변화시키면서 쪼여 주었을 때, 강도가 높아질수록 포토 트랜지스터의 문턱 전압은 더 크게 음의 방향으로 움직였으며 오프 전류의 값도 증가하였다. 이러한 증가량은 비교예 1인 도 2b와 비교했을 때 훨씬 큰 것을 확인할 수 있다.
- [0118] 마지막으로 도 11(c)와 같이 청색광의 강도를 변화시키면서 쪼여 주었을 때, 강도가 높아질수록 포토 트랜지스터의 문턱 전압이 훨씬 더 크게 음의 방향으로 움직였으며 오프 전류의 값도 크게 증가하였다.
- [0120] 결과적으로 게이트 절연층을 에칭한 후 제작된 산화물 반도체 기반 포토 트랜지스터는 게이트 절연층의 에칭 없이 제작된 산화물 반도체 포토 트랜지스터보다 더욱 향상된 가시광선 검출률을 보였으며, 이는 특히 적색광과 녹색광에서 향상 정도가 더욱 큰 것을 확인할 수 있었다.
- [0122] 진술한 바와 같이 종래 가시광 영역에 반응하는 산화물 반도체 포토 트랜지스터를 제작하기 위한 연구는 별도의 양자점이나 나노와이어를 산화물 반도체층 위에 증착하는 방식으로 진행이 되어 왔다. 하지만 복잡한 공정 과정, 인체 유해성, 열처리 과정에서 양자점이나 나노와이어가 응집(Aggregation)되어 균일도가 낮아지는 것과 같이 많은 문제점들이 존재하였다.
- [0124] 또한 현실적으로 갈수록 대면적 기판을 사용하는 디스플레이 산업에서는 양자점 또는 나노와이어를 이용한 산화물 반도체 포토 트랜지스터를 제작 및 응용하기가 매우 힘들다. 아울러 유기물을 산화물 반도체층 위에 형성하는 경우, 산화물 반도체층과의 낮은 호환성으로 인하여 무기물에 의한 흡수층에 비해 현저히 낮은 신뢰성을 갖게 된다.
- [0126] 따라서 본 발명의 일 실시예는 비교적 간단한 공정인 용액 공정을 통해 결함이 있는 산화물(defective oxide) 박막을 흡수층으로 추가하여 산화물 기반이지만 가시광선도 흡수가 가능한 흡수층을 제공한다. 이에 따라 본 발명은 종래의 기술들이 가졌던 균일성(Uniformity) 문제를 획기적으로 해결하면서도 대면적의 디스플레이에도 쉽게 적용이 가능한 산화물 반도체 포토 트랜지스터를 제공한다.
- [0128] 또한 본 발명의 또 다른 일 실시예는 게이트 절연층을 에칭하여 산화물 반도체층과 게이트 절연층 사이의 계면에 서브갭 스테이트(Sub-Gap States)를 형성시키는 방법을 제공하는 것으로 인해 가시광선도 흡수가 가능한 산화물 반도체 포토 트랜지스터에 대한 제작 공정을 매우 단순화하여 제조 공정상의 효율을 극대화할 수 있는 산화물 반도체 포토 트랜지스터를 제공한다.

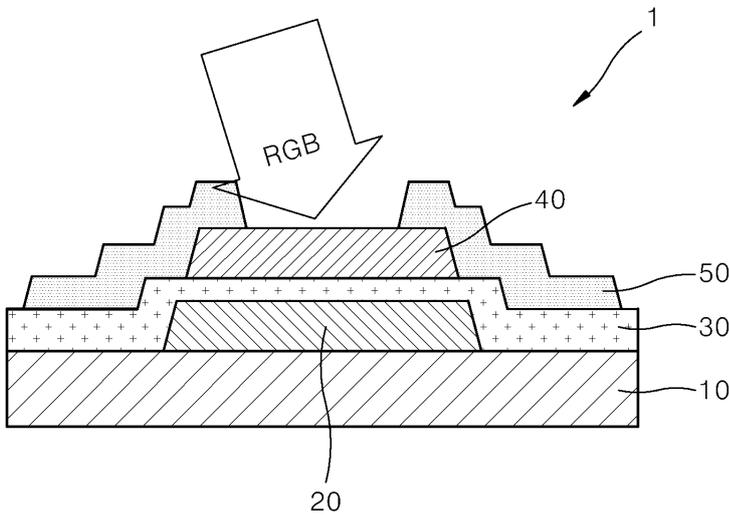
[0130] 이상에서는 본 발명의 실시예를 중심으로 설명하였지만, 통상의 기술자의 수준에서 다양한 변경이나 변형을 가할 수 있다. 따라서, 이러한 변경과 변형이 본 발명의 범위를 벗어나지 않는 한 본 발명의 범주 내에 포함되는 것으로 이해될 수 있을 것이다.

부호의 설명

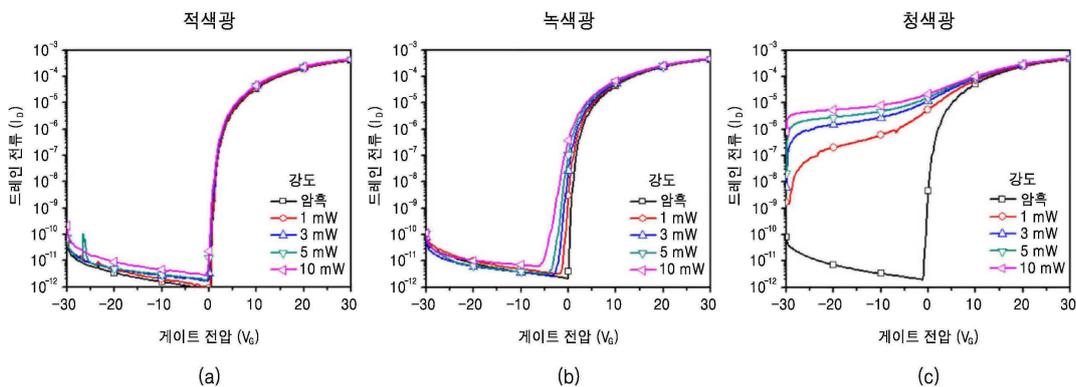
[0132] 1, 100, 200: 포토 트랜지스터 10, 110, 210: 베이스 기판
 20, 120, 220: 게이트 전극 30, 130, 230: 게이트 절연층
 40, 140, 250: 산화물 반도체층 150: 결함이 있는 산화물 광 흡수층
 240: 결함이 있는 산화물 광 흡수부 50, 160, 260: 소스/드레인 전극

도면

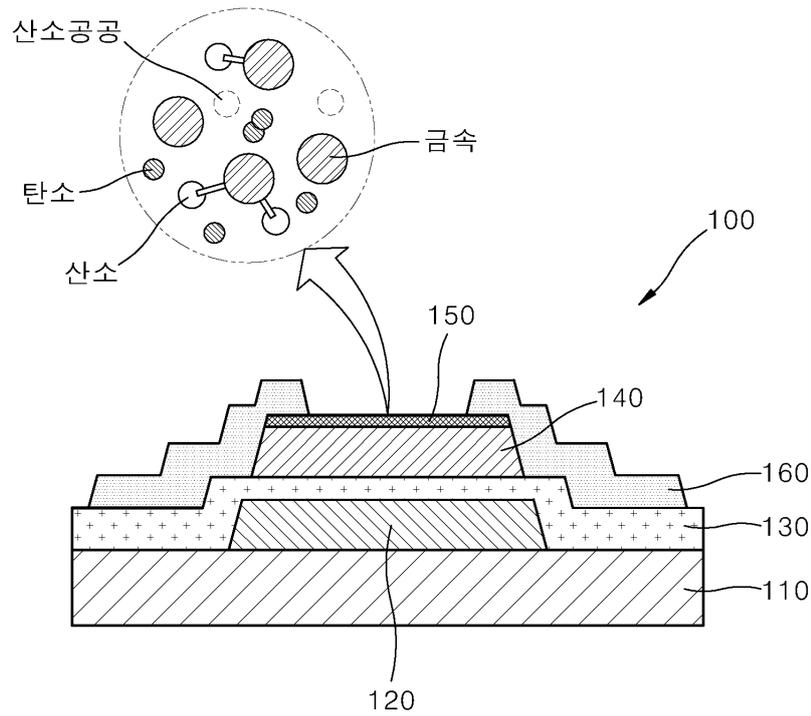
도면1



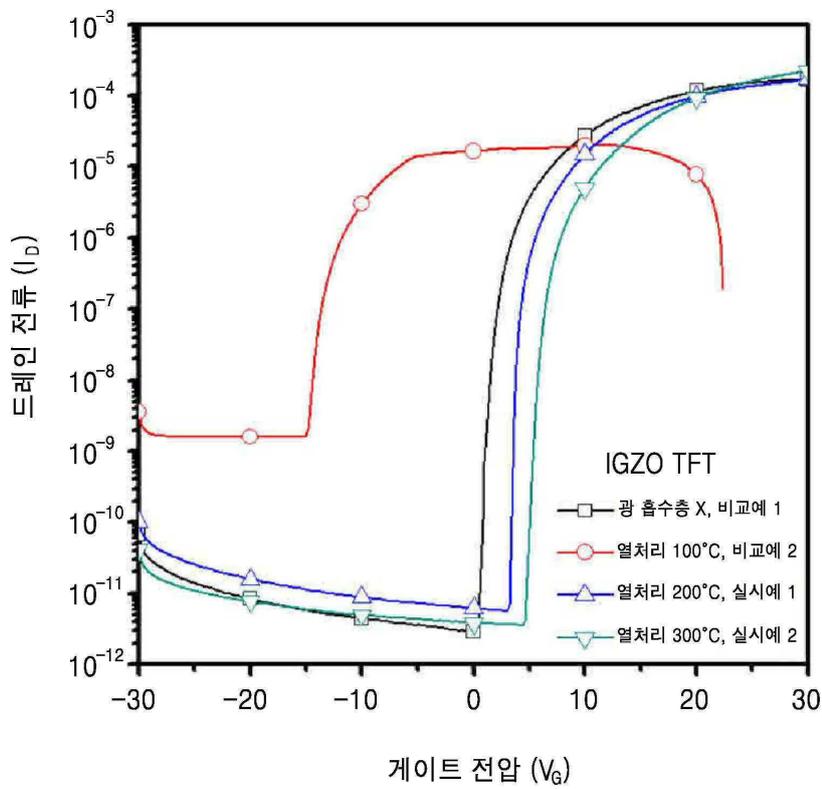
도면2



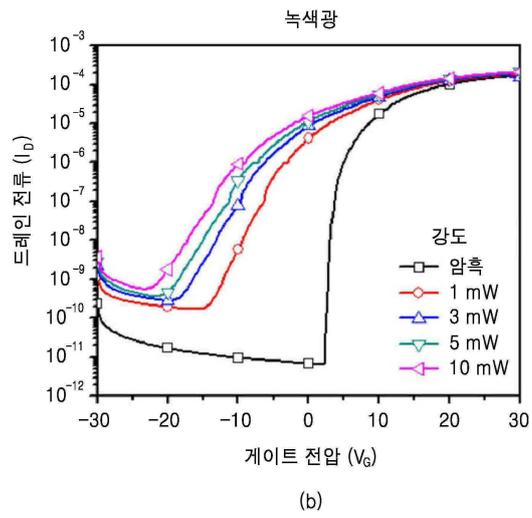
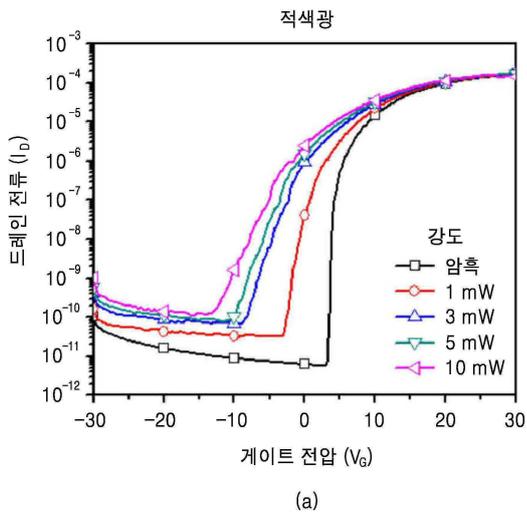
도면3



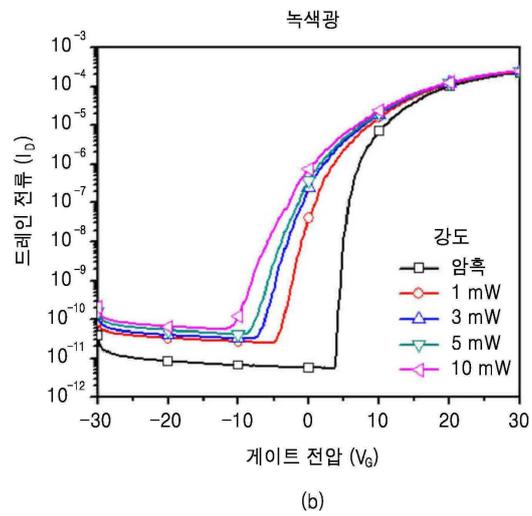
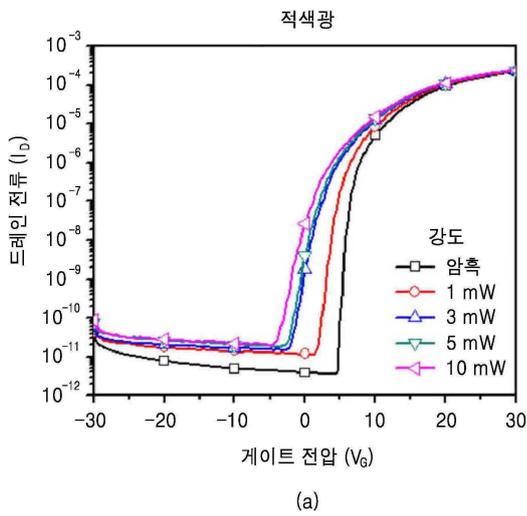
도면4



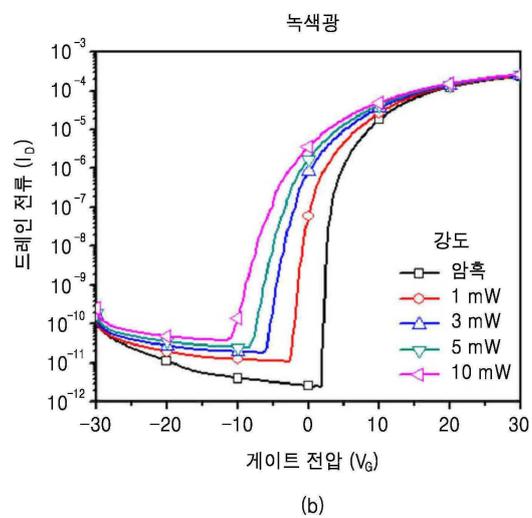
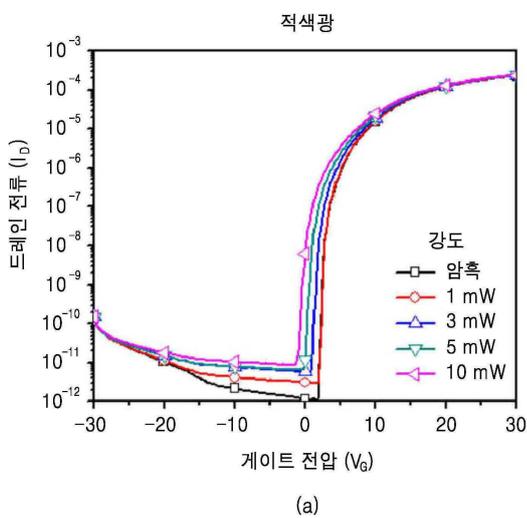
도면5



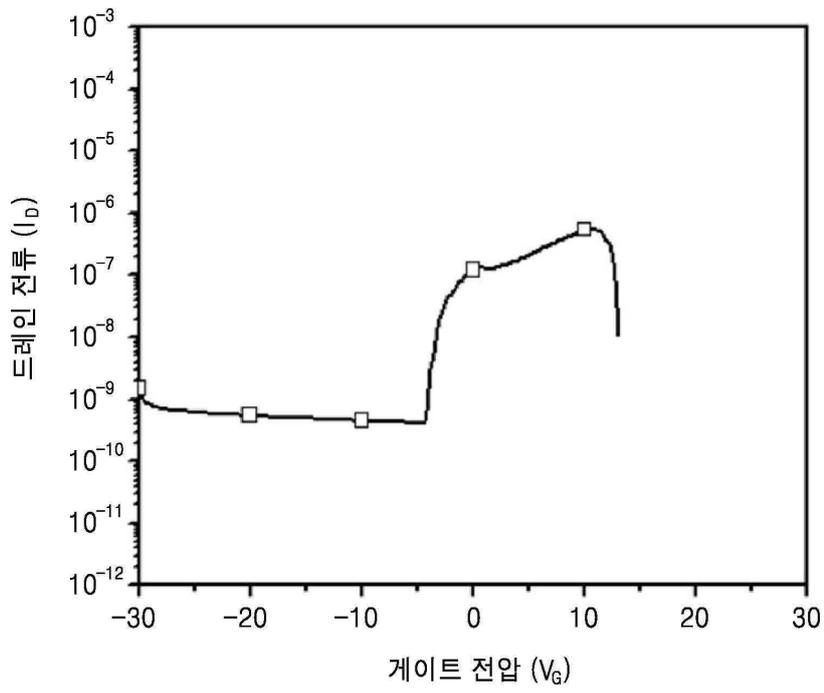
도면6



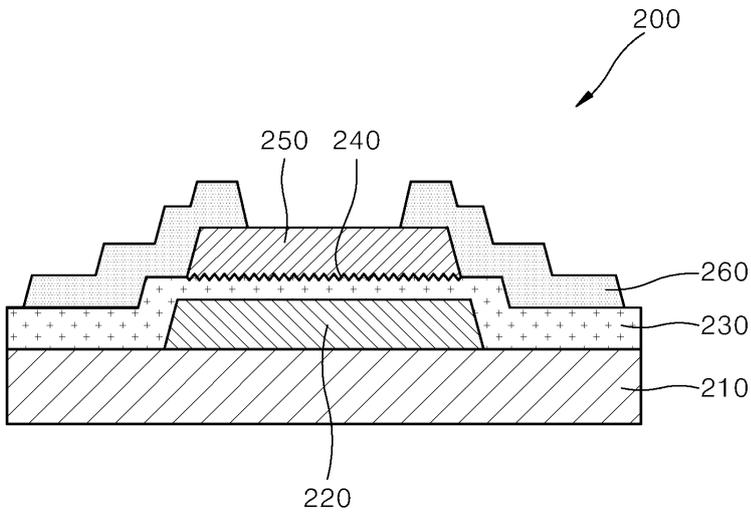
도면7



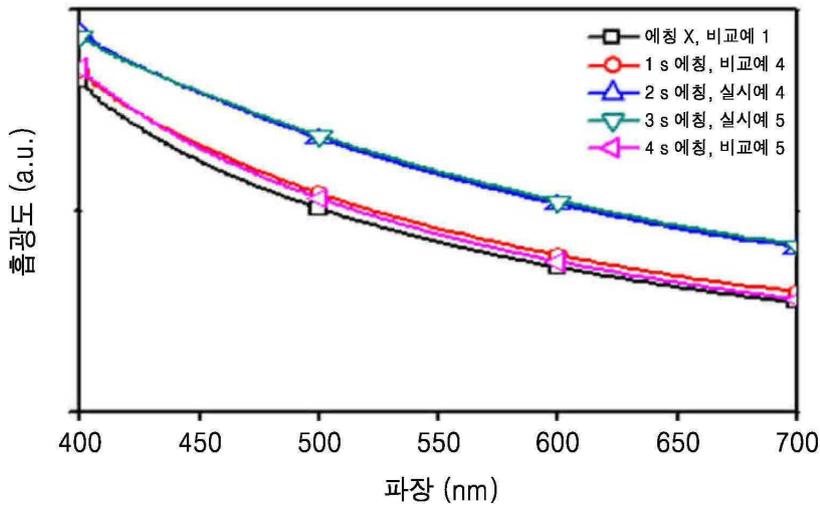
도면8



도면9



도면10



도면11

