



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2019년05월29일
(11) 등록번호 10-1983551
(24) 등록일자 2019년05월23일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)

H01L 29/786 (2006.01)

(52) CPC특허분류

H01L 29/7869 (2013.01)

H01L 29/78606 (2013.01)

(21) 출원번호 10-2017-0173774

(22) 출원일자 2017년12월18일

심사청구일자 2017년12월18일

(56) 선행기술조사문헌

JP09223676 A*

(뒷면에 계속)

(73) 특허권자

한밭대학교 산학협력단

대전광역시 유성구 동서대로 125 (덕명동)

(72) 발명자

김민희

대전광역시 유성구 진잠로42번길 88, 206동 202동 (원내동, 진잠타운아파트)

박지원

충청남도 공주시 버드나무1길 51, 2동 604호(옥룡동, 금강아파트)

김성훈

대전광역시 중구 목동로 37,110동 2001호(목동, 목양마을아파트)

(74) 대리인

특허법인충정

전체 청구항 수 : 총 6 항

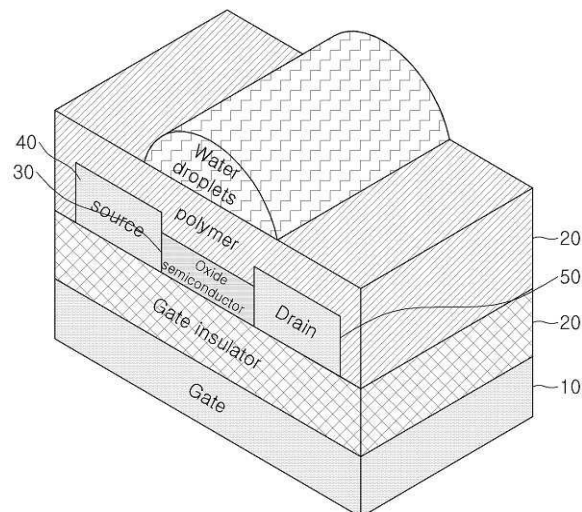
심사관 : 최혜미

(54) 발명의 명칭 토양수분센서 디바이스용 고분자 봉지 산화물 박막 트랜지스터

(57) 요약

본 발명은 토양수분센서 디바이스용 고분자 봉지 산화물 박막 트랜지스터에 관한 것으로서, 본 발명의 산화물 박막 트랜지스터는, 기판 상에 게이트 전극, 게이트 절연막, 액티브층으로서 IGZO(Indium-Gallium-Zinc oxide)층, 소스 전극, 드레인 전극, 및 고분자층을 순차 형성한, 박막 게이트형 TFT 구조로서, 상기 고분자층은, 상기 IGZO 층 상부, 및 상기 소스 전극과 상기 드레인 전극의 측면 및 상부를 포함하는 부분에 코팅되어 봉지된 것을 특징으로 한다.

대표도 - 도6



(52) CPC특허분류

H01L 29/78618 (2013.01)

(56) 선행기술조사문헌

JP2012169419 A*

JP2013504052 A*

JP61057847 A*

KR1020090033715 A*

JP2016201566 A*

KR1020100107799 A*

KR1020150021622 A*

*는 심사관에 의하여 인용된 문헌

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호 117012-03

부처명 농림축산식품부

연구관리전문기관 농림수산물기술기획평가원

연구사업명 첨단생산기술개발사업

연구과제명 신소재를 이용한 저가형 센서 소자 개발

기 여 율 1/1

주관기관 한밭대학교산학협력단

연구기간 2017.04.21 ~ 2017.12.31

명세서

청구범위

청구항 1

기관 상에 게이트 전극, 게이트 절연막, 액티브층, 소스 전극과 드레인 전극, 및 고분자층을 순차 형성한, 박막 게이트형 TFT 구조로서,

상기 액티브층은 산화물 반도체로 이루어지며,

상기 고분자층은, 상기 액티브층 상면, 및 상기 소스 전극과 상기 드레인 전극의 측면 및 상면에 코팅되어, 상기 액티브층 및 상기 소스 전극과 상기 드레인 전극을 봉지하고 있으며,

상기 고분자층은 소정의 농도를 갖는 Polyvinylidene-di-fluoride-trifluoroethylene copolymer(P(VDF-TrFE))을 포함하는 용액을 스핀코팅하여 형성하되 70~130℃의 범위에서 열처리하여 형성되고,

상기 고분자층에 접촉되는 수분이 상기 고분자층을 거쳐 상기 액티브층에 영향을 끼쳐 소스-드레인 전류 특성에 영향을 미치고, 상기 수분을 제거하고 건조하면 본래의 특성으로 돌아오는 가역적인 반응을 이용하여 수분센서에 적용을 위한 것을 특징으로 하는 산화물 박막 트랜지스터.

청구항 2

삭제

청구항 3

제1항에 있어서,

상기 수분센서는 토양 수분센서를 포함하는 것을 특징으로 하는 산화물 박막 트랜지스터.

청구항 4

제1항에 있어서,

상기 게이트 전극은 p형-도핑된 실리콘으로 이루어지는 것을 특징으로 하는 산화물 박막 트랜지스터.

청구항 5

제1항에 있어서,

상기 고분자층은 다공성 또는 소수성 고분자 물질로 이루어진 것을 특징으로 하는 산화물 박막 트랜지스터.

청구항 6

제1항에 있어서,

상기 고분자층은 Polyvinylalcohol(PVA), Polymethylmethacrylate(PMMA), 또는 CYTOP 중 하나 이상 더 혼합하고 스핀코팅하여 형성된 것을 특징으로 하는 산화물 박막 트랜지스터.

청구항 7

삭제

청구항 8

제1항에 있어서,

상기 액티브층은 2종, 3종, 또는 4종의 원소를 포함하는 산화물 반도체로 이루어진 것을 특징으로 하는 산화물 박막 트랜지스터.

발명의 설명

기술 분야

[0001] 본 발명은 토양수분센서에 관한 것으로서, 특히, 높은 정확도를 가지며 보다 저가형의 토양수분센서 디바이스용 고분자 봉지 산화물 박막 트랜지스터에 관한 것이다.

배경 기술

[0002] 토양 상태를 나타내는 다양한 지표 중, 토양의 수분량은 각종 농업의 가장 근본이 되는 데이터로 매우 중요하다. 토양수분센서는 농장 토양의 수분 함량을 측정하는 센서이며, 습도센서와는 다르다. 이를 측정하는 방법에는 건토 중량법, TDR(Time Domain Reflectometry) 및 FDR(Frequency Domain Reflectometry), 수분 장력 방법, EC(Electrical Conductivity) 측정 방법 등이 있다. 건토 중량법은 시료를 채취한 후 건조시켜 수분을 측정하는 방법이다. 하지만 이는 토양 손상으로 인한 지속적 측정이 어려워 적용하기 어렵다. 농가에 설치 가능한 TDR 및 FDR 센서는 고주파의 정전용량 변화를 측정하는 방법으로 상대적으로 정확한 측정이 가능하지만 높은 가격으로 인해서 농가에 경제적 부담이 작용한다. 또한, 수분 장력 센서는 수분의 장력을 측정하는 방법으로 수분 장력 측정에 있어서는 어느 정도 정확도를 가지지만 이를 수분량으로 환산하면 큰 오차를 가질 수 있으며, 토양의 전기전도도를 측정하는 EC센서는 가격이 저렴하고 어느 정도 정확도를 가지고 측정이 가능하나 전기전도도가 수분의 양뿐만 아니라 토양의 이온과 같은 다른 요소에도 영향을 받을 수 있어 전기전도도로부터 수분량을 얻는 과정에서 정확도가 매우 떨어져 자료로써 쓰이기 어렵다.

[0003] 최근 수분센서 개발에 있어 센서 시장의 관심 영역은 대규모 시설원에 분야에 집중되어 있으나 국내 대다수의 농가는 토경 중심의 중소형 온실 또는 노지 농가이다. 토양수분센서 제품의 경우 대부분 높은 가격의 수입제품이 시장을 장악하고 있기 때문에 대규모 노지에 많은 토양수분센서를 설치하기 위해서는 저가 제품이 개발되어야 한다. 농업 환경에서 수분센서의 성능이 어느 정도 보장된다면 가격이 가장 중요한 요소가 된다. 현장에서 많이 사용되고 있는 FDR 센서보다 낮은 가격대의 센서 소자 제품이 필요하며 수분장력 센서나 저항센서 이상의 정확도를 가져야 한다.

[0004] 도 1은 일반적인 토양수분센서들에 대한 가격에 따른 성능을 나타내는 그래프이다. 도 1과 같이 수분장력 센서나 저항센서 이상의 정확도를 가지며 FDR 보다는 가격이 낮은 조건을 가진 센서는 연구조차 시도되지 않았다.

[0005] 따라서, 이와 같은 수분장력 센서나 저항센서 이상의 정확도를 가지며 FDR 보다는 가격이 낮은 박막 트랜지스터형 토양수분센서 디바이스를 제안한다.

발명의 내용

해결하려는 과제

[0006] 따라서, 본 발명은 상술한 문제점을 해결하기 위하여 안출된 것으로, 본 발명의 목적은, 높은 정확도를 가지며 보다 저가형의 토양수분센서 디바이스용 고분자 봉지 산화물 박막 트랜지스터를 제공하는 데 있다.

과제의 해결 수단

[0007] 먼저, 본 발명의 특징을 요약하면, 상기의 목적을 달성하기 위한 본 발명의 일면에 따른 산화물 박막 트랜지스터는, 기판 상에 게이트 전극, 게이트 절연막, 액티브층, 소스 전극, 드레인 전극, 및 고분자층을 순차 형성한, 바텀 게이트형 TFT 구조로서, 상기 액티브층은 산화물 반도체로 이루어지며, 상기 고분자층은, 상기 액티브층 상부, 및 상기 소스 전극과 상기 드레인 전극의 측면 및 상부를 포함하는 부분에 코팅되어 봉지된 것을 특징으로 한다.

[0008] 상기 산화물 박막 트랜지스터는, 상기 고분자층에 접촉되는 수분이 상기 고분자층을 거쳐 상기 액티브층에 영향을 끼쳐 소스-드레인 전류 특성에 영향을 미치고, 상기 수분을 제거하고 건조하면 본래의 특성으로 돌아오는 가역적인 반응을 이용하여 수분센서에 적용을 위한 것을 특징으로 한다. 상기 수분센서는 토양 수분센서를 포함한다.

[0009] 상기 게이트 전극은 p형-도핑된 실리콘으로 이루어질 수 있다. 상기 고분자층은 다공성 또는 소수성 고분자 물질로 이루어질 수 있다. 상기 고분자층은 Polyvinylalcohol(PVA), Polymethylmethacrylate(PMMA), Polyvinylidene-di-fluoride-trifluoroethylene copolymer(P(VDF-TrFE)), 또는 CYTOP 중 하나 이상의 혼합물을

스핀코팅하여 형성될 수 있다.

- [0010] 상기 고분자층은 소정의 농도를 갖는 P(VDF-TrFE) 용액을 스핀코팅하여 형성하되 70~130℃의 범위에서 열처리하여 형성될 수 있다.
- [0011] 상기 액티브층은 2종, 3종, 또는 4종의 원소를 포함하는 산화물 반도체로 이루어질 수 있다.
- [0012] 상기 액티브층으로서 IGZO층은 전구체인 Indium nitrate hydrate, Gallium nitrate hydrate, Zinc nitrate hydrate의 혼합물을 소정의 용액으로 용해한 후 스핀코팅하여 형성될 수 있다. Indium nitrate hydrate, Gallium nitrate hydrate, Zinc nitrate hydrate의 혼합비율은 4:2.1:2 내지 4:3.9:2일 수 있다.

발명의 효과

- [0013] 본 발명에 따른 고분자 봉지 산화물 박막 트랜지스터에 따르면, 높은 정확도를 가지며 보다 저가형의 토양수분 센서 디바이스용으로 응용될 수 있다. 토양의 수분도는 토양 상태를 나타내는 가장 중요한 지표 중 하나이다. 비교적 높은 정확도로 현장에서 많이 사용되고 있는 TDR 및 FDR 센서 등은 비싼 가격 때문에 우리나라 대다수의 농가인 토경 중심의 중소형 온실 또는 노지재배 농가에 사용되기 어려운 실정이다. 본 발명의 산화물 반도체인 Indium-Gallium-Zinc oxide(IGZO)를 용액공정을 이용하여 제작한 산화물 박막 트랜지스터는 뛰어난 전기적 성능을 가지고 있으며 저가 공정 및 제조가 용이한 이점이 있다.
- [0014] IGZO TFT에 대해 많은 연구들이 진행되어 왔는데 그 중 IGZO TFT가 습도가 높은 환경에서 IGZO 디바이스의 제작과 측정 후의 트랜지스터 성능에 영향을 줄 수 있다는 것이다. 습도가 높은 환경에서 IGZO TFT의 전류가 민감하게 변화하는데 이는 산화물 박막 트랜지스터가 토양수분센서 등과 같은 센서 디바이스에 응용 가능한 잠재력을 지니고 있음을 의미한다. 이전 연구들에 따르면 습도나 pH와 같은 환경적인 변수는 TFT 성능을 평가하는데 중요한 요소인 V_{th} , SS 및 오프전류 변화에 영향을 받을 수 있다는 사실이 보고되었다. 하지만 IGZO TFT센서 디바이스에 직접 물이 접촉하는 것이 토양수분 측정을 위해 필수적으로 요구되는 환경에서의 IGZO TFT 센서는 전혀 연구되지 않았다. 본 발명에서는 물과의 직접적인 접촉이 요구되는 TFT 기반 토양수분센서를 개발하기 위해 고분자로 봉지(Encapsulation)된 산화물 박막 트랜지스터를 제작하였다. 고분자의 봉지는 민감하게 반응하고 (Sensitivity) 가역적(Reversibility)인 문턱 전압 변화를 제공한다는 것이 밝혀졌다. 고분자는 물질마다 다양한 성질을 가지는데 소수성(Hydrophobic) 성질을 띠며 다공성 구조를 가지고 있는 고분자로 봉지하였을 때, 수분에 대한 반응과 측정값의 가역성을 확인할 수 있었다. 또한, IGZO의 구성 비율(Composition) 변화는 원하는 범위의 전류 변화를 이끌어 낼 수 있음을 확인하였다. 이러한 결과들을 바탕으로 민감하고 가역적인 토양수분센서 제작의 핵심 기술을 제공할 수 있다.

도면의 간단한 설명

- [0015] 본 발명에 관한 이해를 돕기 위해 상세한 설명의 일부로 포함되는 첨부도면은, 본 발명에 대한 실시예를 제공하고 상세한 설명과 함께 본 발명의 기술적 사상을 설명한다.
- 도 1은 일반적인 토양수분센서들에 대한 가격에 따른 성능을 나타내는 그래프이다.
- 도 2는 일반적인 FET의 종류를 설명하기 위한 도면이다.
- 도 3은 일반적인 산화물 박막 트랜지스터(OxTFTs)의 구조를 설명하기 위한 도면이다.
- 도 4는 본 발명의 산화물 박막 트랜지스터(OxTFTs)의 기본 구조를 설명하기 위한 도면이다.
- 도 5는 도 4의 구조에서 IGZO층(30)에 직접 수분 접촉을 대략적으로 도시한 그림이다.
- 도 6은 본 발명의 IGZO층(30)을 포함하는 산화물 박막 트랜지스터(OxTFTs)에서의 수분 접촉을 대략적으로 도시한 그림이다.
- 도 7은 본 발명의 IGZO층(30)을 포함하는 산화물 박막 트랜지스터(OxTFTs) 구조의 고분자층(60)에서 수분의 흡수와 건조의 가역적인 과정을 대략적으로 도시한 그림이다.
- 도 8에 본 발명의 산화물 박막 트랜지스터 위에 토양을 올려 놓은 개략적인 모습을 나타내었다.
- 도 9는 본 발명의 IGZO층(30)을 포함하지 않은 경우에 산화물 박막 트랜지스터(OxTFTs)의 게이트 전극의 전압에 따른 소스-드레인 전류의 그래프이다.

도 10은 본 발명의 산화물 박막 트랜지스터(OxTFTs)의 고분자층(60)의 종류별 게이트 전극의 전압에 따른 소스-드레인 전류의 그래프이다.

도 11은 도 10의 결과에 대한 고분자층(60)의 종류별 물 접촉 및 건조 시간에 따른 문턱전압에 대한 그래프이다.

도 12는 본 발명의 산화물 박막 트랜지스터(OxTFTs)의 고분자층(60)으로 P(VDF-TrFE)를 코팅한 경우 시간에 따른 소스-드레인 전류의 그래프이다.

도 13은 PVA, PMMA, P(VDF-TrFE), CYTOP의 이론적인 분자구조에 대한 도면이다.

도 14는 본 발명의 산화물 박막 트랜지스터(OxTFTs)의 고분자층(60) P(VDF-TrFE)의 열처리 온도별 게이트 전극의 전압에 따른 소스-드레인 전류의 그래프이다.

도 15는 도 14의 결과에 대한 고분자층(60) P(VDF-TrFE)의 열처리 온도별 물 접촉 및 건조 시간에 따른 문턱전압에 대한 그래프이다.

도 16은 본 발명의 산화물 박막 트랜지스터(OxTFTs)의 IGZO층(30)의 성분별 게이트 전극의 전압에 따른 소스-드레인 전류의 그래프이다.

도 17은 도 16의 결과에 대한 IGZO층(30)의 성분별 물 접촉 및 건조 시간에 따른 문턱전압에 대한 그래프이다.

도 18은 본 발명의 산화물 박막 트랜지스터(OxTFTs)의 IGZO층(30)의 전구체 비율 (4:3:2) 적용 시 VG=-10V일 때, 시간에 따른 소스-드레인 전류의 그래프이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0016] 이하에서는 첨부된 도면들을 참조하여 본 발명에 대해서 자세히 설명한다. 이때, 각각의 도면에서 동일한 구성 요소는 가능한 동일한 부호로 나타낸다. 또한, 이미 공지된 기능 및/또는 구성에 대한 상세한 설명은 생략한다. 이하에 개시된 내용은, 다양한 실시 예에 따른 동작을 이해하는데 필요한 부분을 중점적으로 설명하며, 그 설명의 요지를 흐릴 수 있는 요소들에 대한 설명은 생략한다. 또한 도면의 일부 구성요소는 과장되거나 생략되거나 또는 개략적으로 도시될 수 있다. 각 구성요소의 크기는 실제 크기를 전적으로 반영하는 것이 아니며, 따라서 각각의 도면에 그려진 구성요소들의 상대적인 크기나 간격에 의해 여기에 기재되는 내용들이 제한되는 것은 아니다.

[0017] 본 발명의 실시예들을 설명함에 있어서, 본 발명과 관련된 공지기술에 대한 구체적인 설명이 본 발명의 요지를 불필요하게 흐릴 수 있다고 판단되는 경우에는 그 상세한 설명을 생략하기로 한다. 그리고, 후술되는 용어들은 본 발명에서의 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. 상세한 설명에서 사용되는 용어는 단지 본 발명의 실시 예들을 기술하기 위한 것이며, 결코 제한적이어서는 안 된다. 명확하게 달리 사용되지 않는 한, 단수 형태의 표현은 복수 형태의 의미를 포함한다. 본 설명에서, "포함" 또는 "구비"와 같은 표현은 어떤 특성들, 숫자들, 단계들, 동작들, 요소들, 이들의 일부 또는 조합을 가리키기 위한 것이며, 기술된 것 이외에 하나 또는 그 이상의 다른 특성, 숫자, 단계, 동작, 요소, 이들의 일부 또는 조합의 존재 또는 가능성을 배제하도록 해석되어서는 안 된다.

[0018] 또한, 제1, 제2 등의 용어는 다양한 구성요소들을 설명하는데 사용될 수 있지만, 상기 구성요소들은 상기 용어들에 의해 한정되는 것은 아니며, 상기 용어들은 하나의 구성요소를 다른 구성요소로부터 구별하는 목적으로만 사용된다.

[0019] 먼저, 트랜지스터를 기반으로 제작된 센서 디바이스들은 낮은 오프 전류와 트랜지스터의 증폭 특성을 가져 높은 응답성을 가진다. 이러한 장점을 가지기 때문에 본 발명에서 트랜지스터 구조를 센서 디바이스의 기본 구조로 채용하였다.

[0020] 그 중에서도 산화물 박막 트랜지스터(Oxide Thin Film Transistors, OxTFTs)는 높은 이동도(Mobility) 및 균일도(Uniformity)와 같은 뛰어난 전기적 성능을 가지고 있으며 저가 공정 및 제조가 용이하여 차세대 전자 제품에 사용될 것으로 주목 받고 있다. 대표적인 산화물 박막 트랜지스터로는 Indium-Gallium-Zinc oxide(IGZO) TFT가 사용되며 이는 투명하고 저가 공정한 용액공정으로 제작이 가능하다는 장점을 가지고 있다. 더 나아가 IGZO TFT가 디바이스 제품으로서 상용화되기 위해서는 각 재료의 성질 또는 환경의 영향에 대해 잘 파악하고 있어야 한

다. 특히 IGZO TFT 기반 센서 디바이스를 제작할 때 습도가 높은 환경은 트랜지스터 성능에 영향을 줄 수 있어 중요한 요소이다.

- [0021] IGZO TFT는 주로 센싱 디바이스가 아닌 디스플레이 응용을 위한 구동 장치로 사용되어왔다. 그러나 구동 장치로서의 IGZO TFT가 습도와 같은 외부 환경에 따라 트랜지스터 성능이 불안정하다는 단점이 TFT 기반 센서 디바이스에서는 반응성을 가지고 있다는 장점으로 작용한다. 이를 활용한 IGZO TFT 기반 센서 디바이스로는 온도센서, pH센서, 습도센서 등이 있다. 예를 들어, IGZO TFT를 온도센서로 활용하여 디스플레이 품질 및 전력소비를 제어하는 온도를 측정하는 경우가 있고, 저전압 구동이 가능한 IGZO TFT를 활용하여 수성 매질에서 pH 용액을 검출하는데 pH센서를 사용하는 경우가 있었다. 여러 가지 TFT 기반 센서 디바이스 관련 연구들 중에서도 가장 주목해야 할 것은 습도 의존성이다. 습도는 공기 중의 수증기가 포함된 정도를 의미하고 습도센서는 대기 중의 수증기 정도를 측정하는 센서 디바이스로 IGZO TFT가 수증기에 반응하여 전기적 성능이 변화하는 성질을 응용하였다.
- [0022] 하지만 본 발명에서 다루게 될 수분센서는 물이 디바이스에 직접 접촉되고 건조되는 과정에서의 수분을 측정하는 센서 디바이스이다. 현재까지 진행된 연구들을 살펴보면 수분센서 디바이스에서 필수적으로 요구되는 직접 물이 접촉되는 것이 트랜지스터 성능에 어떠한 영향을 미치는지에 대해서는 연구되지 않았다.
- [0023] 본 발명에서는 저가공정인 용액공정으로 IGZO TFT를 제작하여 저가형 수분센서를 제작한다. 앞서 연구된 트랜지스터 기반 센서 디바이스들은 변화된 환경이 IGZO층(Active layer)에 직접 노출되었다. 하지만 본 발명에서는 액티브(active)층에 물이 직접 접촉되면 센서 디바이스로의 성질을 잃을 수 있기 때문에 제작된 IGZO TFT에 보호막 역할을 하는 고분자 층을 추가적으로 형성한다.
- [0024] 이하 본 발명에 따른 토양수분센서 디바이스용 고분자 봉지 산화물 박막 트랜지스터의 이론적 배경을 좀 더 설명하고, 그 구조, 성능 등에 대하여 상세히 기술한다.
- [0026] < OxTFTs의 구조 및 동작원리 >
- [0027] 도 2는 일반적인 FET의 종류를 설명하기 위한 도면이다.
- [0028] 도 2와 같이, (a) 기판 위에 유전체를 형성한 후, 소스(Source) 전극과 드레인(Drain) 전극 및 게이트(Gate) 전극을 형성한 구조, (b) 기판 상에 공핍층(depletion)층을 형성한 후, 소스(Source) 전극과 드레인(Drain) 전극 및 게이트(Gate) 전극을 형성한 구조, (c) 기판 위에 게이트(Gate) 전극을 먼저 형성한 후, 유전체를 형성하고, 액티브층과 소스(Source) 전극 및 드레인(Drain) 전극을 형성한 구조 등 다양한 FET(Field Effect Transistor)가 존재한다.
- [0029] 산화물 박막 트랜지스터는 반도체층의 소재나 구조 등에 따라 다르지만 기본 동작원리는 FET(Field Effect Transistor)와 크게 다르지 않다. FET는 게이트(Gate)에 전압(+)을 가해주면 전기장이 발생하여 유전체를 중심으로 반도체층에 유전 분극이 일어나게 되고 게이트 반대쪽에 전자(-)층이 형성된다. 이 때 드레인(Drain) 전극에 전압을 가해주면 반도체층을 통해 소스(Source) 전극에서 드레인(Drain) 전극으로 전자가 이동할 수 있게 된다.
- [0030] 도 3은 일반적인 산화물 박막 트랜지스터(OxTFTs)의 구조를 설명하기 위한 도면이다.
- [0031] 도 3과 같이, 산화물 박막 트랜지스터(OxTFTs)는, 게이트(Gate) 전극 위의 유전체 위에, 소스(Source) 전극과 드레인(Drain) 전극 사이의 액티브층 소재로 산화물 반도체(oxide semiconductor)를 사용한 박막 트랜지스터이다. 산화물 박막 트랜지스터는 n형 반도체, p형 반도체의 구분은 없으며, FET와 유사하게 게이트에 전압을 가해주면 전자가 반도체층을 통해 소스/드레인 전극 사이를 흐른다.
- [0032] 예를 들어, 액티브층인 IGZO층을 이용하는 산화물 박막 트랜지스터에서, IGZO층이 수분에 노출되면 H₂O 분자 또는 하이드록실기(Hydroxyl)가 IGZO 채널에 자유 전자를 제공한다. 추가된 전자는 IGZO 박막의 전자 캐리어 농도를 증가시키고 박막을 전도성으로 만들어 오프전류(Off-Current) 변화 또는 문턱전압(V_{th}, Threshold Voltage)의 음의 방향으로의 시프트(Negative Shift)를 유도한다.
- [0034] <OxTFTs를 이용한 수분센서>
- [0035] 최근 일반적으로 TDR(Time Domain Reflectometry) 및 FDR(Frequency Domain Reflectometry) 방식의 토양수분센서를 이용하여 토양의 수분도를 측정한다. 두 센서 모두 토양 내에 고주파를 내보내 되돌아오는 반사파를 수신하게 되는데 TDR 방식은 되돌아오는 반사파의 시간 차이를 이용하며, FDR 방식은 되돌아오는 반사파 세기에 따

른 정전용량(Electric Capacity) 변화를 이용한다. TDR 및 FDR은 다른 센서 방식(건토 중량법, 전기저항, 수분 장력 등)에 비해 성능이 뛰어나지만 제작 비용이 높다는 단점이 있고, 반면 트랜지스터 기반 센서 디바이스는 낮은 오프 전류와 증폭 특성을 가져 높은 응답성을 가진다.

[0036] 본 발명에서는, 산화물 박막 트랜지스터(OxTFTs)를 토양수분센서로 응용하기 위해 산화물 박막 트랜지스터(OxTFTs)의 센싱 성능을 먼저 확인한다.

[0037] 고분자(Polymer)는 분자량이 매우 큰 분자로 같은 구조가 반복된 중합체이다. 고분자는 긴 사슬(Chain) 형태를 가지는데 이는 고분자가 다분산성(Polydispersity)을 가지는 이유이다. 고분자의 다분산성 때문에 물질마다 사슬이 풀어지는 온도가 다르고 온도에 따라 성질도 달라진다.

[0038] 본 발명의 산화물 박막 트랜지스터(OxTFTs)는 액티브층 위에 고분자층을 코팅한다. 이는 토양수분센서에서 필수적인 환경인 디바이스에 물이 직접 닿는 환경에서 트랜지스터의 성능이 매우 불안정해지는 것을 방지해주는 역할을 한다.

[0039] 한편, 토양수분센서는 각종 농업에서 가장 근본이 되는 데이터인 토양의 수분도를 측정하는 디바이스이다. 농업에 사용되기 위해서는 어느 수준 이상의 정확도가 요구되고, 정확도가 충족된다면 가격이 가장 중요한 요소가 될 것이다. 현재 농업에서 상용화된 토양수분센서 디바이스들은 정확도는 뛰어나지만 가격적으로 부담이 되고 있다. 본 발명에서는 이러한 문제점을 해결하기 위해 저가형 공정으로 농업에서 요구하는 정확도를 충족하는 토양수분센서를 제안하고자 한다.

[0040] 수분센서 디바이스에서 가장 중요한 것은 물에 대해 민감하게 반응하는 것과 물이 접촉되고 건조됨에 따라 가역적인 반응을 보이는 것이다. 최종적으로 수분에 민감하게 반응하고 가역적인 반응을 보이는 소재를 이용하여 저가형 수분센서를 개발하는 것이 목표이다. 본 발명에서는 수분에 반응하는 소재로 고분자 물질을 사용하여 저가 공정으로 고분자가 봉지된 트랜지스터 센서 디바이스를 제작할 수 있고 이를 이용해 수분도를 전기적으로 읽을 수 있다.

[0042] <산화물 박막 트랜지스터(OxTFTs)의 제작>

[0043] 도 4는 본 발명의 산화물 박막 트랜지스터(OxTFTs)의 기본 구조를 설명하기 위한 도면이다.

[0044] 도 4와 같이, 본 발명의 산화물 박막 트랜지스터(OxTFTs)는, 바텀(bottom) 게이트형 TFT 구조로서, 실리콘, 유리 등 소정의 기판 상에서, 게이트 전극(10) 위에 게이트 절연막(20)을 형성하고, 그 위에 채널 방향으로 게이트 전극(10)의 폭보다 크게 또는 작게 산화물 반도체(oxide semiconductor)로 이루어진 액티브층(30)을 형성하고, 다시 그 위의 좌우에 IGZO층(30)과 채널 방향으로 좌우에서 각각 접촉되는 소스 전극(40)과 드레인 전극(50)을 형성한 구조를 기초로 한다. 도 6에서 설명될 것이지만, 적어도 액티브층(30) 상부 및 소스 전극(40)과 드레인 전극(50)의 측면과 상부는 모두 고분자층(60)의 코팅에 의해 봉지된다.

[0045] 여기서, 산화물 반도체(oxide semiconductor)로 이루어진 액티브층으로서 IGZO(Indium-Gallium-Zinc oxide)층(30)을 예로 들어 설명하지만, 이에 한정되는 것은 아니며, ZnInO(Zinc-Indium oxide), ZnSnO(Zinc-Tin oxide), GaInO(Gallium-Indium oxide), InSnO(Indium-Tin oxide), ZnO(Zinc-oxide) 등 2종, 3종, 4종 등의 다른 원소들로 이루어진 레이어로 이루어질 수도 있으며, 나아가 이와 같은 레이어에 적절히 도펀트(dopant)를 첨가한 산화물 반도체로 이루어질 수도 있다.

[0046] 기판은 Acetone, Isopropyl alcohol(IPA)를 각각 10분씩 초음파 세척기를 이용해 세척하였다. 기판 세척 후, 기판을 150℃로 가열된 오븐 안에 넣고 30분간 건조시켰다. 게이트 전극(10)은 p형-도핑된 실리콘(Silicon(p+Si))일 수 있고, 게이트 절연막(20)은 200nm 두께의 Silicon dioxide(SiO₂)일 수 있다.

[0047] 액티브층(30), 예를 들어, IGZO층(30)은 전구체인 Indium nitrate hydrate, Gallium nitrate hydrate, Zinc nitrate hydrate를 4:3:2(또는 4:2:2, 4:4:2 등 가능)의 비율을 갖도록 2-methoxyethanol 5ml에 0.1M% 농도로 60℃/Overnight 조건으로 용해시킨 후, 스핀코팅(Spin-coating)방법으로 형성될 수 있다. 예를 들어, 먼저, 세척된 기판을 UV 빛에 20분간 조사시킨 후, 위와 같은 IGZO(4:3:2) 0.1M% 용액을 3000rpm/30s의 스핀코팅 조건으로 게이트 전극(10) 위에 형성된 게이트 절연막(20)(게이트 절연막(20)/게이트 전극(10)) 위에 코팅한다. 이후 이를 110℃로 가열된 핫플레이트(Hot plate) 위에 놓고 10분 동안 프리-베이킹(pre-baking)한 뒤, 퍼니스(Furnace)를 사용해 500℃에서 3시간동안 열처리 함으로써, IGZO층(30)을 형성할 수 있다.

[0048] 소스 전극(40)과 드레인 전극(50)은 Al(알루미늄)을 이용해 열 증착 방식으로 120nm 정도 두께로 제작될 수 있

다.

[0050] <제1실시예>

[0051] 도 4와 같이, 소스 전극(40)과 드레인 전극(50) 사이에 IGZO층(30)을 형성한 후, 도 6과 같이, 고분자층(60)은 IGZO층(30) 상부 및 소스 전극(40)과 드레인 전극(50)의 측면과 상부를 모두 덮도록 형성된다. 고분자층(60)은 수분과의 직접적인 접촉을 막아주게 된다.

[0052] 고분자층(60)은 Polyvinylalcohol(PVA), Polymethylmethacrylate(PMMA), Polyvinylidene-di-fluoride-trifluoroethylene copolymer(P(VDF-TrFE)), CYTOP 등, 다공성 또는 소수성 특성을 가진 고분자 물질 중 어느 하나 이상을 조합하여 이루어질 수 있다. 예를 들어, 8%의 농도를 가진 고분자 PVA, PMMA, P(VDF-TrFE), 또는 CYTOP의 혼합물을 3000rpm/30seconds의 스핀코팅 후 핫플레이트 90℃에서 30분간 열처리하여 고분자층(60)을 형성할 수 있다.

[0053] 도 5는 도 4의 구조에서 IGZO층(30)에 직접 수분 접촉을 대략적으로 도시한 그림이다. 도 6은 본 발명의 IGZO층(30)을 포함하는 산화물 박막 트랜지스터(OxTFTs)에서의 수분 접촉을 대략적으로 도시한 그림이다.

[0054] 하기하는 바와 같이, 도 5와 같이 IGZO층(30)에 직접 수분이 접촉되는 경우와 도 6과 같이 고분자층(60)에 의해 수분과의 직접적인 접촉을 막아주는 경우에 대하여 트랜지스터의 성능 측정 결과를 비교하게 된다.

[0055] 예를 들어, 도 5와 같이 IGZO층(30)에 직접 위에 물방울을 떨어뜨려 1시간동안 접촉시킨 후, 프로브스테이션(Probe station)을 이용하여 게이트 전극(10)에 전압 -50V~50V, 드레인 전극(50)에 전압 50V 조건으로 측정하였다.

[0056] 또한, 도 6과 같이 고분자층(60) 위에 물방울을 떨어뜨려 1시간동안 접촉시킨 후, 프로브스테이션(Probe station)을 이용하여 게이트 전극(10)에 전압 -50V~50V, 드레인 전극(50)에 전압 50V 조건으로 측정하였다.

[0057] 도 7과 같이 고분자층(60) 위에 물방울을 접촉시키면 수분이 고분자층(60)을 거쳐 액티브층(30), 예를 들어, IGZO층(30)에 영향을 끼쳐 그 동작 특성에 영향을 미치며, 다시 수분을 제거하면 수분이 증발되면서 건조되어 본래의 특성으로 돌아오는 가역적인 반응을 보이게 된다. 이와 같은 과정 동안 측정이 이루어진다. 도 7은 본 발명의 IGZO층(30)을 포함하는 산화물 박막 트랜지스터(OxTFTs) 구조의 고분자층(60)에서 수분의 흡수와 건조의 가역적인 과정을 대략적으로 도시한 그림이다.

[0059] <제2실시예>

[0060] 여기서는, 도 6과 같은 본 발명의 IGZO층(30)을 포함하는 산화물 박막 트랜지스터(OxTFTs) 구조에서, 게이트 전극(10), 게이트 절연막(20), 소스 전극(40), 드레인 전극(50), IGZO층(30)의 형성은 위에서 기술한 바와 같고, 고분자층(60)의 열처리 온도를 변화시켜 측정하였다.

[0061] 고분자층(60) 형성을 위하여, 도 4와 같은 기본 OxTFT 구조를 제작한 뒤, Polyvinylidene-di-fluoride-trifluoroethylene copolymer(P(VDF-TrFE)) 8% 용액을 3000rpm/30seconds의 조건으로 스핀코팅 한다. 고분자 열처리 온도에 변화를 주어 코팅막의 다공성을 조절하기 위해 스핀코팅 후 각각 핫플레이트 60℃, 90℃, 140℃, 200℃에서 30분간 열처리하였다.

[0062] 이후, 도 6과 같이 고분자층(60) 위에 물방울을 떨어뜨려 1시간동안 접촉시킨 후, 프로브스테이션(Probe station)을 이용하여 게이트 전극(10)에 전압 -50V~50V, 드레인 전극(50)에 전압 50V 조건으로 측정하였다. 수분이 고분자층(60)에서 흡수되고 건조되는 과정 동안 측정이 이루어진다.

[0064] <제3실시예>

[0065] 여기서는, 도 6과 같은 본 발명의 IGZO층(30)을 포함하는 산화물 박막 트랜지스터(OxTFTs) 구조에서, 게이트 전극(10), 게이트 절연막(20), 소스 전극(40), 드레인 전극(50), 고분자층(60)의 형성은 위에서 기술한 바와 같고, IGZO층(30)의 구성 비율을 변화시켜 측정하였다.

[0066] IGZO층(30)의 형성을 위하여, 전구체인 Indium nitrate hydrate, Gallium nitrate hydrate, Zinc nitrate hydrate를 각각 4:2:2, 4:3:2, 4:4:2의 비율을 갖도록 2-methoxyethanol 5ml에 0.1M% 농도로 60℃/Overnight 조건으로 용해시켰다.

[0067] 고분자층(60) 형성을 위하여는, 도 4와 같은 기본 OxTFT 구조를 제작한 뒤, Polyvinylidene-di-fluoride-trifluoroethylene copolymer(P(VDF-TrFE)) 8% 용액을 3000rpm/30seconds의 조건으로 스핀코팅 한다. 하기의

실험 결과와 같이 가장 뚜렷한 반응을 보이는 90℃에서 핫플레이트를 이용하여 30분간 열처리하였다.

[0068] 이후, 도 6과 같이 고분자층(60) 위에 물방울을 떨어뜨려 1시간동안 접촉시킨 후, 프로브스테이션(Probe station)을 이용하여 게이트 전극(10)에 전압 -50V~50V, 드레인 전극(50)에 전압 50V 조건으로 측정하였다. 수분이 고분자층(60)에서 흡수되고 건조되는 과정 동안 측정이 이루어진다.

[0070] <제4실시예>

[0071] 여기서는, 도 6과 같은 본 발명의 IGZO층(30)을 포함하는 산화물 박막 트랜지스터(OxTFTs) 구조에서, 게이트 전극(10), 게이트 절연막(20), 소스 전극(40), 드레인 전극(50), IGZO층(30), 고분자층(60)의 형성은 위에서 기술한 바와 같다.

[0072] 고분자층(60) 형성을 위하여는, 도 4와 같은 기본 OxTFT 구조를 제작한 뒤, Polyvinylidene-di-fluoride-trifluoroethylene copolymer(P(VDF-TrFE)) 8% 용액을 3000rpm/30seconds의 조건으로 스핀코팅 한다. 하기의 실험 결과와 같이 가장 뚜렷한 반응을 보이는 90℃에서 핫플레이트를 이용하여 30분간 열처리하였다.

[0073] 이후, 도 6과 같이 고분자층(60) 위에 물방울을 떨어뜨려 1시간동안 접촉시킨 후, 프로브스테이션(Probe station)을 이용하여 게이트 전극(10)에 전압 -50V~50V, 드레인 전극(50)에 전압 50V 조건으로 측정하였다. 수분이 고분자층(60)에서 흡수되고 건조되는 과정 동안 측정이 이루어진다.

[0074] 다만, 위와 같이 고분자층(60)으로 봉지된 본 발명의 IGZO층(30)을 포함하는 산화물 박막 트랜지스터가 실제 토양에서 반응성이 있는지 확인하기 위해, 도 8과 같이, 물이 10% 포함된 토양을 IGZO층(30) 위에 충분히 접촉시키고 트랜지스터의 반응을 확인하였다. 도 8에 본 발명의 산화물 박막 트랜지스터 위에 토양을 올려 놓은 개략적인 모습을 나타내었다. 다만, 수분이 IGZO층(30)에 집중되고 IGZO층(30) 채널 영역 부분 이외, 즉, 고분자층(60)으로 봉지된 산화물 박막 트랜지스터의 가장자리로부터의 오염물질에 의한 영향이 없도록 EGC(Electronic Grade Coatings) 제품으로 코팅하여 측정하였다.

[0076] < 측정 결과 분석 >

[0077] 도 9는 본 발명의 IGZO층(30)을 포함하지 않은 경우에 산화물 박막 트랜지스터(OxTFTs)의 게이트 전극의 전압에 따른 소스-드레인 전류의 그래프이다.

[0078] 도 9에는, 산화물 박막 트랜지스터(OxTFTs)가 센서 디바이스로 응용 가능한지 확인하기 위해, 수분 접촉 전 측정(original), 수분을 직접 30분간 접촉시킨 후 측정(water contact 30m), 수분을 제거한 후 2시간동안 건조시킨 후 재측정(After dry 2h)에 대한 그래프가 도시되어 있다. 그 결과 도 9와 같이 전류값이 변하는 것으로 보아 물에 대한 반응성을 가지고 있음을 확인하였다. 하지만 디바이스의 수분을 건조시켜도 전류값이 되돌아오지 않았다. 그 이유는 IGZO층(30)이 물에 용해되어 IGZO 성능에 영향을 미치기 때문이다.

[0079] 따라서 습기가 아닌 수분이 직접 디바이스에 접촉되면 가역성이 없어 연속적인 동작이 필요한 센서 디바이스로서의 기능을 하지 못해 추가적인 공정이 필요하다.

[0080] 위에서 기술한 <실시예1>의 경우와 같이, 고분자층(60)은 Polyvinylalcohol(PVA), Polymethylmethacrylate(PMMA), Polyvinylidene-di-fluoride-trifluoroethylene copolymer(P(VDF-TrFE)), CYTOP 등의 고분자 물질 중 어느 하나 이상을 조합하여 이루어질 수 있다.

[0081] 도 10은 본 발명의 산화물 박막 트랜지스터(OxTFTs)의 고분자층(60)의 종류별 게이트 전극의 전압에 따른 소스-드레인 전류의 그래프이다.

[0082] 도 10과 같이, (a) PVA, (b) PMMA, (c) P(VDF-TrFE), (d) CYTOP의 각 고분자층(60)에 대하여, 수분 접촉 전 측정(original), 수분을 직접 20분간 접촉시킨 후 측정(water contact 20m), 수분을 직접 40분간 접촉시킨 후 측정(water contact 40m), 수분을 직접 60분간 접촉시킨 후 측정(water contact 60m), 수분을 제거한 후 1시간동안 건조시킨 후 측정(dry 1h), 수분을 제거한 후 2시간동안 건조시킨 후 측정(dry 2h), 수분을 제거한 후 3시간동안 건조시킨 후 측정(dry 3h)에 대한 그래프가 도시되어 있다.

[0083] 도 10을 살펴보면, PVA와 P(VDF-TrFE)의 경우 수분에 따라 반응성을 보이고 PMMA와 CYTOP은 반응성이 거의 보이지 않는다. 하지만 PVA는 P(VDF-TrFE)와 달리 전류값이 수분에 반응을 보이기 전으로 돌아오는 가역적인 반응을 보이지 않았다.

[0085] 도 11은 도 10의 결과에 대한 고분자층(60)의 종류별 물 접촉 및 건조 시간에 따른 문턱전압에 대한

그래프이다.

- [0086] 도 11과 같이 시간에 따른 문턱전압 값(V_{th})의 변화를 살펴보았을 때 PVA와 P(VDF-TrFE)를 코팅한 OxTFT가 물에 반응하여 문턱전압 값이 음의 방향으로 시프트 되었고, 물을 건조시켰을 때 문턱전압 값이 가역적으로 되돌아 오는 것을 확인할 수 있었다. 하지만 PVA는 P(VDF-TrFE)와 같이 안정적이지 않고 뚜렷한 변화가 나타나지 않아 센서 디바이스로의 응용이 어려움을 알 수 있다.
- [0087] 도 12는 본 발명의 산화물 박막 트랜지스터(OxTFTs)의 고분자층(60)으로 P(VDF-TrFE)를 코팅한 경우 시간에 따른 소스-드레인 전류의 그래프이다.
- [0088] 도 12와 같이, P(VDF-TrFE)의 가역성을 확인하기 위해 같은 측정조건(예, 30분 수분 접촉 후 건조 3시간)으로 3회 반복 측정하였고, 그 결과 P(VDF-TrFE)를 코팅한 OxTFT가 안정적으로 가역성을 띠는 것을 확인하였다.
- [0089] 도 13은 PVA, PMMA, P(VDF-TrFE), CYTOP의 이론적인 분자구조에 대한 도면이다.
- [0090] 도 10, 11, 12와 같은 결과는 도 13과 같은 고분자 물질들이 각각 가지는 표면에너지로 설명할 수 있다. 표면에너지는 표면이 수분을 잡아당기는 힘을 의미한다. 표면에너지가 클수록 수분을 잡아당기는 힘이 강해 친수성 성질을 가지고, 작을수록 수분을 잡아당기는 힘이 약해 소수성 성질을 가진다.
- [0091] 아래 [표1]과 같이 고분자층(60)의 각 고분자들은 가지고 있는 표면에너지가 달라 물접촉각(Water Contact Angle)을 가진다. PVA, PMMA는 친수성 성질이 강하고, P(VDF-TrFE)와 CYTOP은 소수성 성질이 강하게 나타난다.
- [0092] [표1] 고분자들의 물 접촉각

	PVA	PMMA	P(VDF-TrFE)	CYTOP
Contact Angle	47°	65°	78°	117°

- [0093]
- [0094] PVA는 친수성 성질이 강해 수분 흡수가 빨라 수분에 대해 민감하게 반응을 보인다. PMMA는 소수성보다 친수성 성질이 강해 수분에 반응을 보일 것으로 예상했지만 반응이 전혀 일어나지 않았다. P(VDF-TrFE)는 수분에 대해 반응을 보이며 소수성 성질로 수분 건조가 가능해 가역성을 보인다. 마지막으로 CYTOP은 소수성 성질이 강해 수분에 대해 아무런 반응을 보이지 않았다.
- [0095] 결과적으로 4개의 고분자 중 수분에 대한 반응성과 가역성을 보이는 것은 P(VDF-TrFE)로 코팅한 디바이스인데 P(VDF-TrFE)는 소수성 물질이며 코팅 막이 다공성 구조를 이루게 된다. 고분자층에서 다공성이란 고분자를 코팅 하였을 때 코팅막 표면에 많은 작은 구멍을 가지고 있는 성질이다. 소수성 물질임에도 수분을 흡수할 수 있는 구멍이 있는 다공성 구조를 가지고 있어 수분에 반응을 보인다.
- [0096] 한편, 위에서 기술한 <실시예2>의 경우와 같이, 고분자층(60) 형성을 위하여, 도 4와 같은 기본 OxTFT 구조를 제작한 뒤, P(VDF-TrFE) 8% 용액을 3000rpm/30seconds의 조건으로 스핀코팅 한다. 고분자 열처리 온도에 변화를 주어 코팅막의 다공성을 조절하기 위해 스핀코팅 후 각각 핫플레이트 60℃, 90℃, 140℃, 200℃에서 30분간 열처리하였다.
- [0097] 도 14는 본 발명의 산화물 박막 트랜지스터(OxTFTs)의 고분자층(60) P(VDF-TrFE)의 열처리 온도별 게이트 전극의 전압에 따른 소스-드레인 전류의 그래프이다. 도 15는 도 14의 결과에 대한 고분자층(60) P(VDF-TrFE)의 열처리 온도별 물 접촉 및 건조 시간에 따른 문턱전압에 대한 그래프이다.
- [0098] 도 14와 같이, (a) 60℃, (b) 90℃, (c) 140℃, (d) 200℃의 각 열처리 온도에 대하여, 수분 접촉 전 측정(original), 수분을 직접 10분간 접촉시킨 후 측정(water contact 10m), 수분을 직접 20분간 접촉시킨 후 측정(water contact 20m), 수분을 직접 30분간 접촉시킨 후 측정(water contact 30m), 수분을 직접 60분간 접촉시킨 후 측정(water contact 60m), 수분을 직접 120분간 접촉시킨 후 측정(water contact 120m), 수분을 직접 180분간 접촉시킨 후 측정(water contact 180m), 수분을 제거한 후 10분동안 건조시킨 후 측정(dry 10m), 수분을 제거한 후 20분동안 건조시킨 후 측정(dry 20m), 수분을 제거한 후 30분동안 건조시킨 후 측정(dry 30m), 수분을 제거한 후 60분동안 건조시킨 후 측정(dry 60m), 수분을 제거한 후 120분동안 건조시킨 후 측정(dry 120m), 수분을 제거한 후 1일 동안 건조시킨 후 측정(dry 1day)에 대한 그래프가 도시되어 있다.
- [0099] 고분자 코팅막 표면에 있는 작은 구멍의 크기는 온도에 변화를 주어 조절이 가능하다. P(VDF-TrFE)를 코팅한 OxTFT가 가역성을 띠는 이유가 코팅막이 다공성 구조를 가지기 때문인지 확인하기 위해 열처리 온도에 변화를 주었다. 온도 조건은 위와 같이 각각 60℃, 90℃, 140℃, 200℃이다. 온도가 높아질수록 P(VDF-TrFE)의 사슬 배

열이 정렬되며 코팅막의 구멍의 크기가 작아진다.

- [0100] 도 14에서 볼 수 있듯이 가장 뚜렷한 변화를 보이는 그래프는 90℃에서 열처리한 트랜지스터이다. 하지만 문턱 전압 값을 보여주는 도 15에서는 <실시예1>의 실험과 비슷한 경향의 그래프를 보이지만 불안정한 값을 보여준다. 이는 IGZO층(30)의 구성비율의 차이 때문으로 보여진다. 여기서, 위와 같은 열처리 온도 조건은 90℃ 인 경우가 바람직하므로, 대략 70~130℃의 범위에서 열처리 온도가 적용될 수 있을 것으로 보인다. 또한 30분간 위와 같은 열처리하는 것이 바람직하지만, 대략 10분 내지 60분 범위에서 적절히 선택하여 적용할 수 있을 것으로 보인다. 이하 P(VDF-TrFE) 용액의 스핀코팅 후 열처리에 대하여 90℃, 30분으로 예를 들어 설명하지만, 위와 같이 70~130℃의 범위에서 10분 내지 60분 범위에서 적용되는 것 중의 한 예로서 설명한 것임을 밝혀 둔다.
- [0102] 한편, 위에서 기술한 <실시예3>의 경우와 같이, IGZO층(30)의 형성을 위하여, 전구체인 Indium nitrate hydrate, Gallium nitrate hydrate, Zinc nitrate hydrate를 각각 4:2:2, 4:3:2, 4:4:2의 비율을 갖도록 2-methoxyethanol 5ml에 0.1M% 농도로 60℃/Overnight 조건으로 용해시켰다. 고분자층(60) 형성을 위하여는, 도 4와 같은 기본 OxTFT 구조를 제작한 뒤, P(VDF-TrFE) 8% 용액을 3000rpm/30seconds의 조건으로 스핀코팅하고, 위와 같이 가장 뚜렷한 반응을 보이는 90℃에서 핫플레이트를 이용하여 30분간 열처리하였다.
- [0103] 도 16은 본 발명의 산화물 박막 트랜지스터(OxTFTs)의 IGZO층(30)의 성분별 게이트 전극의 전압에 따른 소스-드레인 전류의 그래프이다. 도 17은 도 16의 결과에 대한 IGZO층(30)의 성분별 물 접촉 및 건조 시간에 따른 문턱 전압에 대한 그래프이다. 도 18은 본 발명의 산화물 박막 트랜지스터(OxTFTs)의 IGZO층(30)의 전구체 비율 (4:3:2) 적용 시 VG=-10V일 때, 시간에 따른 소스-드레인 전류의 그래프이다.
- [0104] 도 16과 같이, (a) 전구체 비율 (4:2:2), (b) 전구체 비율 (4:3:2), (c) 전구체 비율 (4:4:2)의 각 성분 비율에 대하여, 수분 접촉 전 측정(original), 수분을 직접 10분간 접촉시킨 후 측정(water contact 10m), 수분을 직접 20분간 접촉시킨 후 측정(water contact 20m), 수분을 직접 30분간 접촉시킨 후 측정(water contact 30m), 수분을 직접 60분간 접촉시킨 후 측정(water contact 60m), 수분을 직접 120분간 접촉시킨 후 측정(water contact 120m), 수분을 제거한 후 10분동안 건조시킨 후 측정(dry 10m), 수분을 제거한 후 20분동안 건조시킨 후 측정(dry 20m), 수분을 제거한 후 30분동안 건조시킨 후 측정(dry 30m), 수분을 제거한 후 60분동안 건조시킨 후 측정(dry 60m), 수분을 제거한 후 120분동안 건조시킨 후 측정(dry 120m), 수분을 제거한 후 180분동안 건조시킨 후 측정(dry 180m), 수분을 제거한 후 1일 동안 건조시킨 후 측정(dry 1day)에 대한 그래프가 도시되어 있다.
- [0105] IGZO층(30)의 전구체들의 비율에 따라 트랜지스터의 특성이 달라지고 센서 디바이스 성능에 영향을 미친다는 것을 알 수 있다. IGZO층(30)에서 Indium(In)은 산소와의 결합이 가장 약하다. In이 많은 조성의 반도체인 경우 산소 빈격자점 형성이 비교적 잘 되어 반도체 내의 캐리어 농도를 증가시킨다. Gallium(Ga)은 3족 원소로 전하를 잡아주는 역할을 하여 과잉 캐리어 발생을 막는다. 따라서 Ga 비율의 변화는 전하 수의 변화를 일으킨다.
- [0106] 또한, 도 17과 같이 서로 다른 IGZO층(30)의 전구체들의 비율을 가진 OxTFT 모두 비슷한 경향의 문턱전압 변화 그래프를 보이지만, 가장 안정적으로 가역성을 띠는 데이터는 IGZO층의 전구체 비율이 “4:3:2”인 것을 확인할 수 있다. 도 18에서, 산화물 박막 트랜지스터(OxTFTs)의 IGZO층(30)의 (4:3:2) 적용 시 VG=-10V일 때, 오프 전류가수분 접촉시에는 높다가 건조가 되면서 가역적으로 작아지는 우수한 성능을 나타냄을 확인하였다. 여기서, 위와 같은 IGZO층의 전구체 비율이 4:3:2인 경우가 바람직하므로, 대략 4:2.1:2 내지 4:3.9:2의 범위에서 전구체 비율이 적용될 수 있을 것으로 보인다.
- [0107] 더 나아가, 위에서 기술한 <실시예4>의 경우와 같이, 도 6과 같은 본 발명의 IGZO층(30)을 포함하는 산화물 박막 트랜지스터(OxTFTs) 구조가, 실제 토양에서 반응성이 있는지 확인하기 위해, 도 8과 같이, 물이 10% 포함된 토양을 IGZO층(30) 위에 충분히 접촉시키고 트랜지스터의 반응을 확인하였다. 여기서도 IGZO층(30)의 전구체 비율(4:3:2) 적용하고, 고분자층(60)으로 P(VDF-TrFE) 8% 용액을 3000rpm/30seconds의 조건으로 스핀코팅하고, 90℃에서 열처리한 경우가 가장 바람직한 결과로 나타났다.
- [0108] 상술한 바와 같이, 본 발명에 따른 고분자 봉지 산화물 박막 트랜지스터는, 저렴한 공정을 이용하여 TFT 기반 토양수분센서에 활용될 수 있다. 산화물 반도체 IGZO를 사용하여 산화물 박막 트랜지스터를 제작하고 측정으로 확인하였으며, IGZO는 수분에 반응하여 민감한 반응성을 요구하는 센서 디바이스에 사용되기에 적합하다. 하지만 IGZO가 물에 용해되어 성능 변화가 일어날 수 있어 이를 방지하기 위해 고분자를 산화물 박막 트랜지스터 위에 코팅하였다.
- [0109] 먼저, 고분자 물질을 선택하기 위한 실험에서, PVA, PMMA, P(VDF-TrFE), CYTOP 총 4가지의 고분자를

사용하였다. 4가지 물질 중 P(VDF-TrFE)를 코팅한 OxTFT가 수분에 대해 민감하게 반응하고 연속적인 센서로써의 동작인 가역성을 보인다. P(VDF-TrFE)는 소수성 성질을 가지고 있으며 코팅하였을 때 코팅막의 표면이 다공성 구조를 가진다. 이로 인해 소수성 성질로 인해 수분 건조가 빨라 가역성을 보이고, 소수성 성질임에도 수분에 대해 민감하게 반응을 보이는 것은 다공성 구조를 가지기 때문일 것이다. 이러한 결과를 바탕으로 TFT 기반 토양수분센서로 P(VDF-TrFE)를 코팅한 OxTFT를 사용하는 것이 바람직함을 확인하였다.

[0110] 더 나아가 OxTFT에 코팅한 P(VDF-TrFE)가 다공성 구조를 가져 수분에 반응성을 보이는지 확인하기 위하여 다공성(구멍의 크기)을 조절하였다. P(VDF-TrFE) 코팅막을 스핀코팅으로 제작한 후 각각 60℃, 90℃, 140℃, 200℃에서 열처리하였다. 그 결과 90℃에서 열처리한 OxTFT가 가장 안정적인 센서 디바이스로서의 데이터를 가졌다.

[0111] 다음으로 산화물 반도체인 IGZO의 구성 비율에 변화를 주어 가장 안정적인 IGZO 구성 비율에 대해 연구하였다. IGZO 모두 0.1M%로 제작되었고 In:Ga:Zn의 비율을 각각 4:2:2, 4:3:2, 4:4:2로 Ga 비율을 바꾸어 제작하였다. Ga은 3족 원소로 In에 의해 발생한 과잉 캐리어를 잡아주는 역할을 하여 전하 수를 조절한다. 가장 안정적으로 가역성을 띠는 데이터는 IGZO 비율이 “4:3:2” 인 것을 확인할 수 있었다.

[0112] 이상과 같이 본 발명에서는 구체적인 구성 요소 등과 같은 특정 사항들과 한정된 실시예 및 도면에 의해 설명되었으나 이는 본 발명의 보다 전반적인 이해를 돕기 위해서 제공된 것일 뿐, 본 발명은 상기의 실시예에 한정되는 것은 아니며, 본 발명이 속하는 분야에서 통상적인 지식을 가진 자라면 본 발명의 본질적인 특성에서 벗어나지 않는 범위에서 다양한 수정 및 변형이 가능할 것이다. 따라서, 본 발명의 사상은 설명된 실시예에 국한되어 정해져서는 아니 되며, 후술하는 특허청구범위뿐 아니라 이 특허청구범위와 균등하거나 등가적 변형이 있는 모든 기술 사상은 본 발명의 권리범위에 포함되는 것으로 해석되어야 할 것이다.

부호의 설명

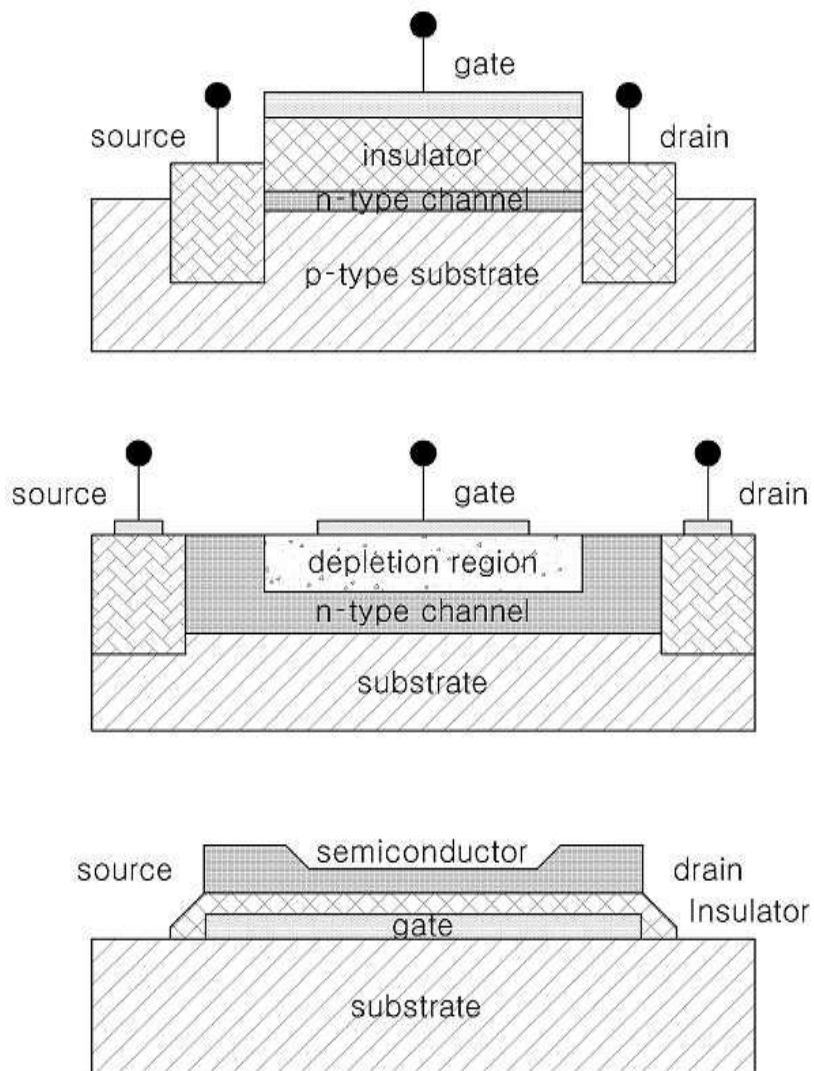
[0113] 게이트 전극(10)
게이트 절연막(20)
IGZO층(30)
소스 전극(40)
드레인 전극(50)
고분자층(60)

도면

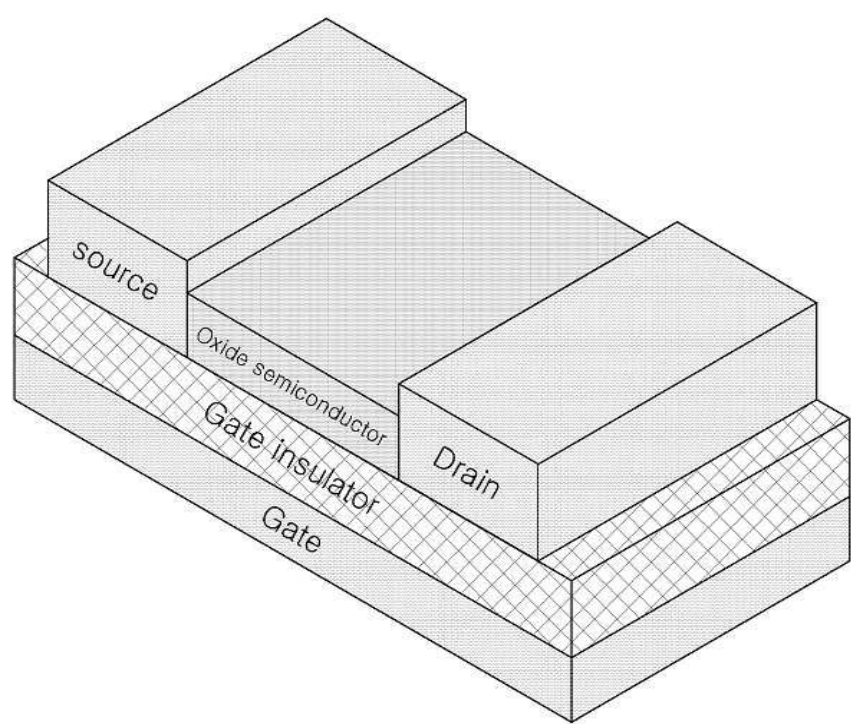
도면1



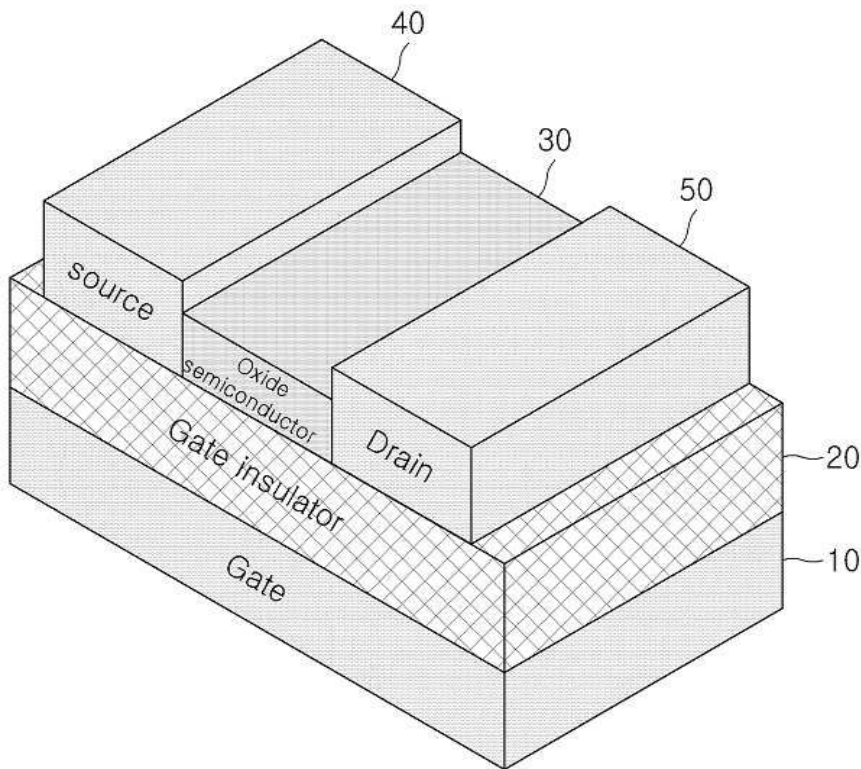
도면2



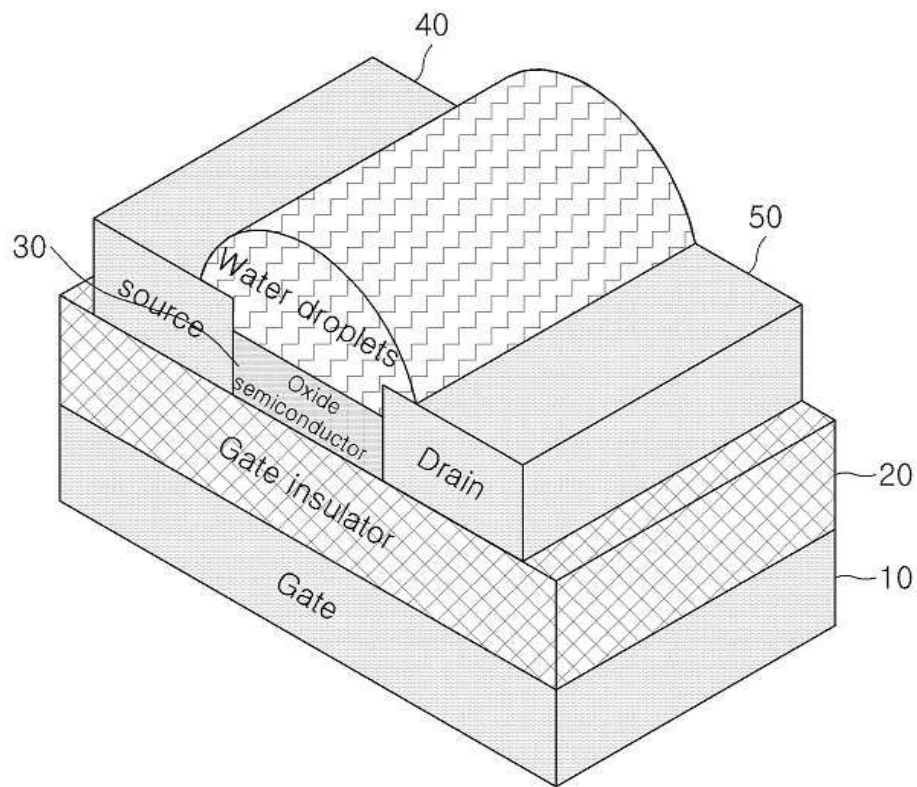
도면3



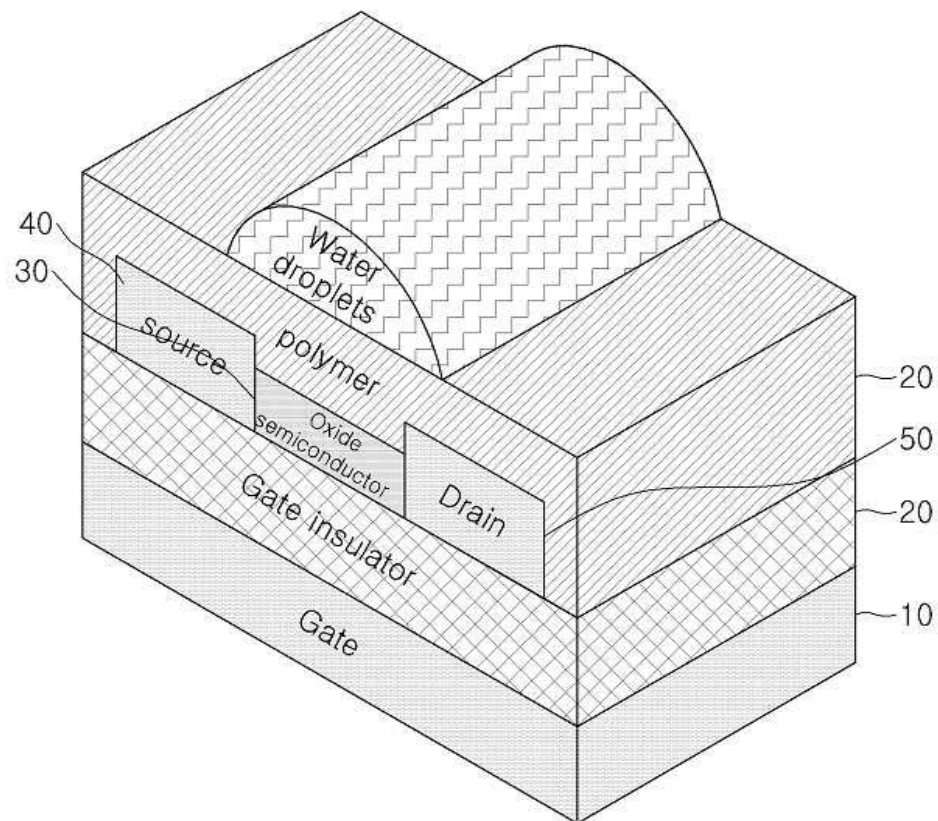
도면4



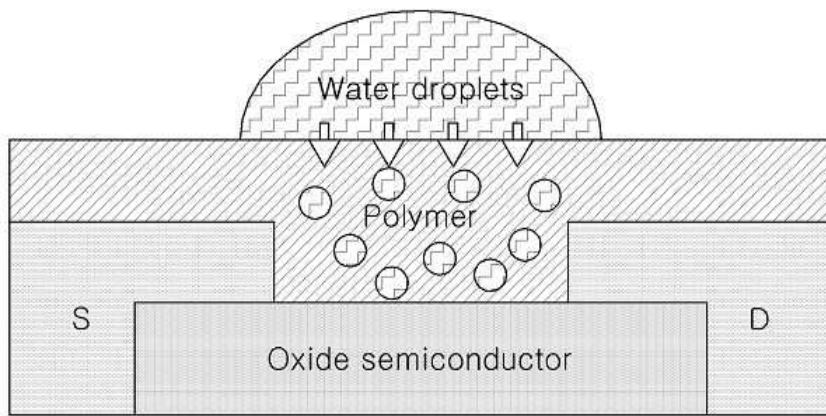
도면5



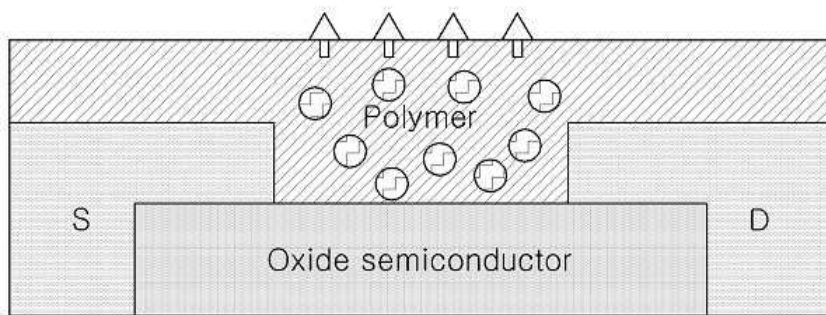
도면6



도면7

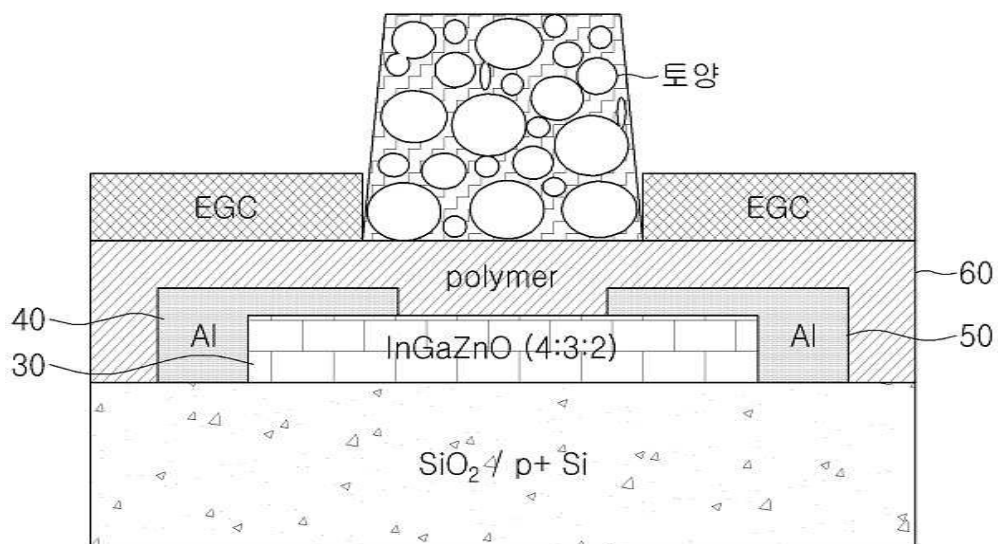


Water contact

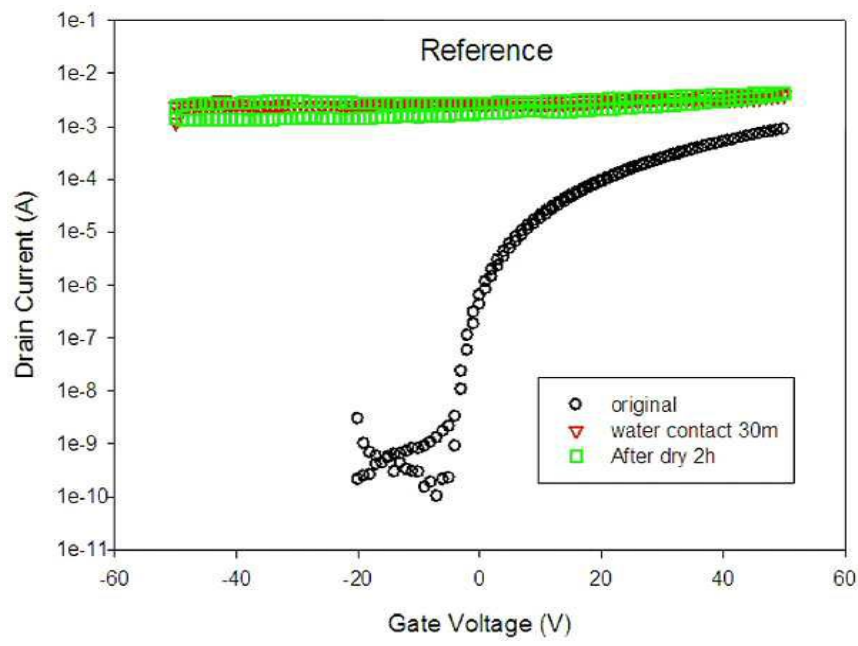


Dry (evaporation)

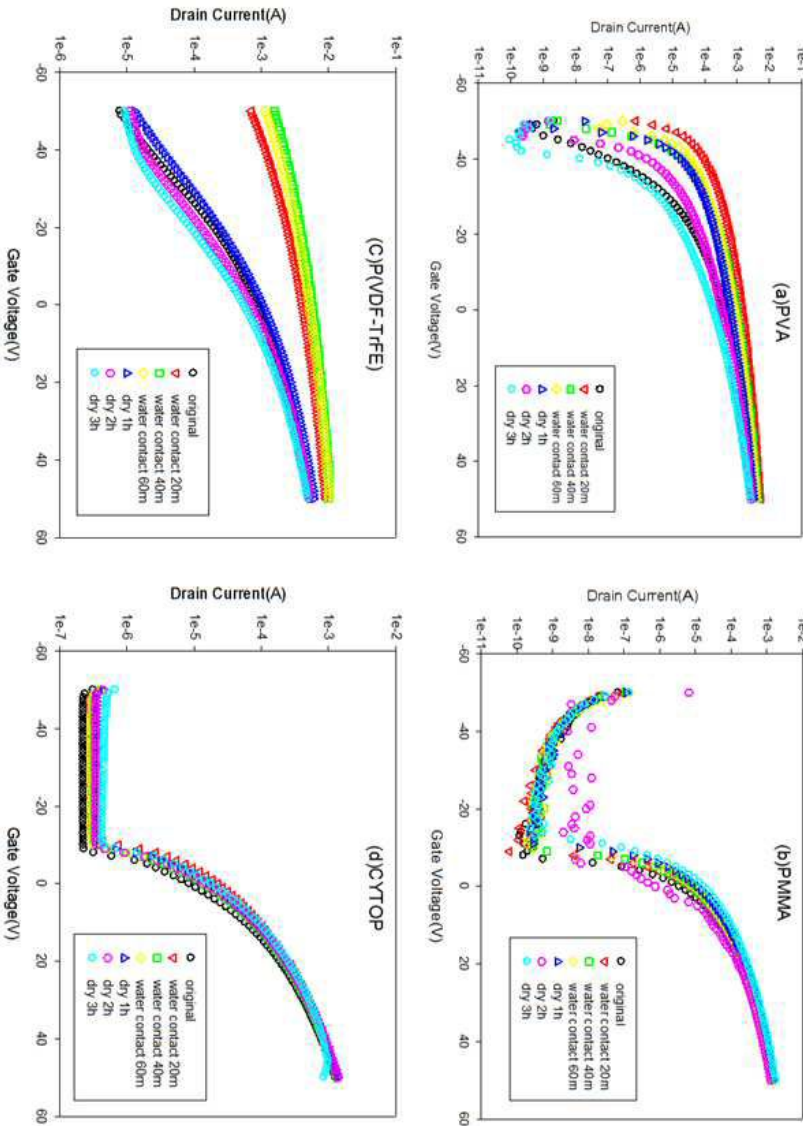
도면8



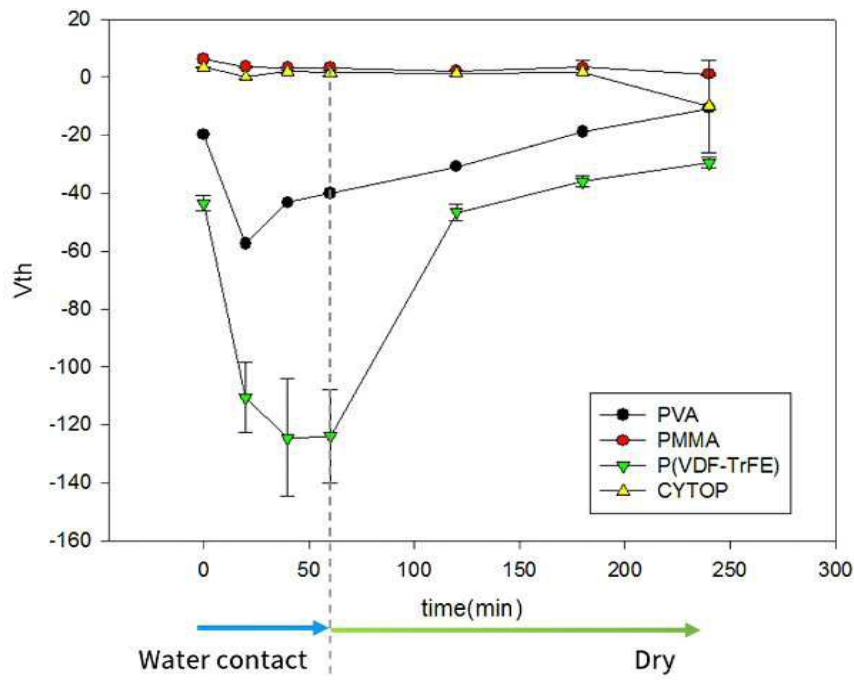
도면9



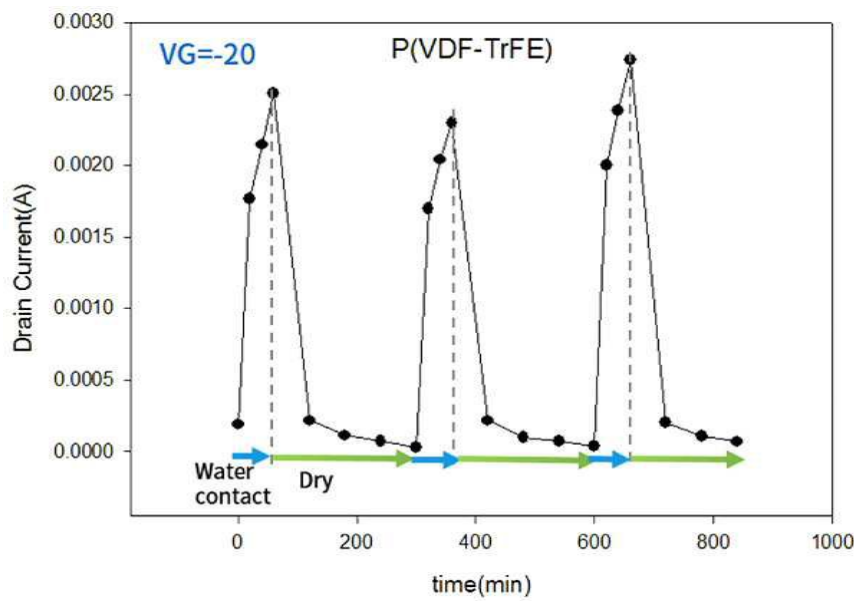
도면10



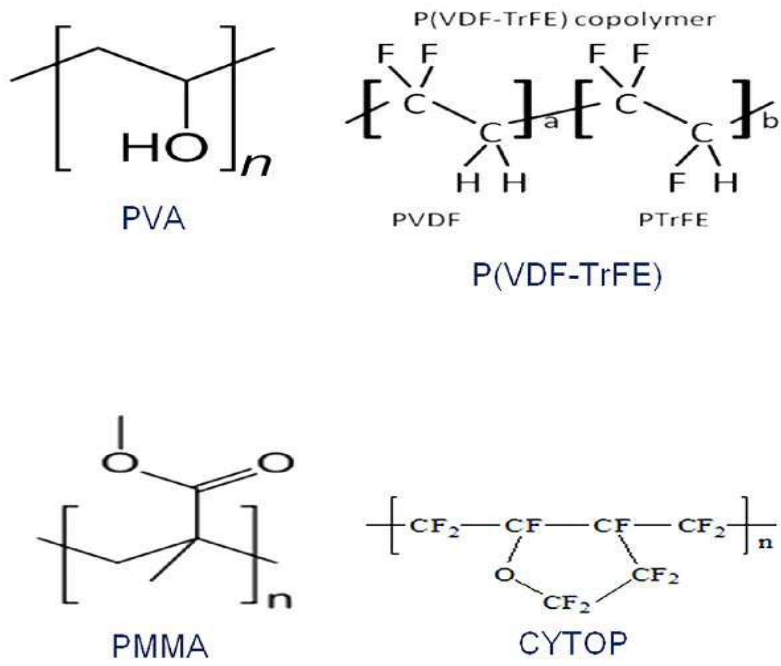
도면11



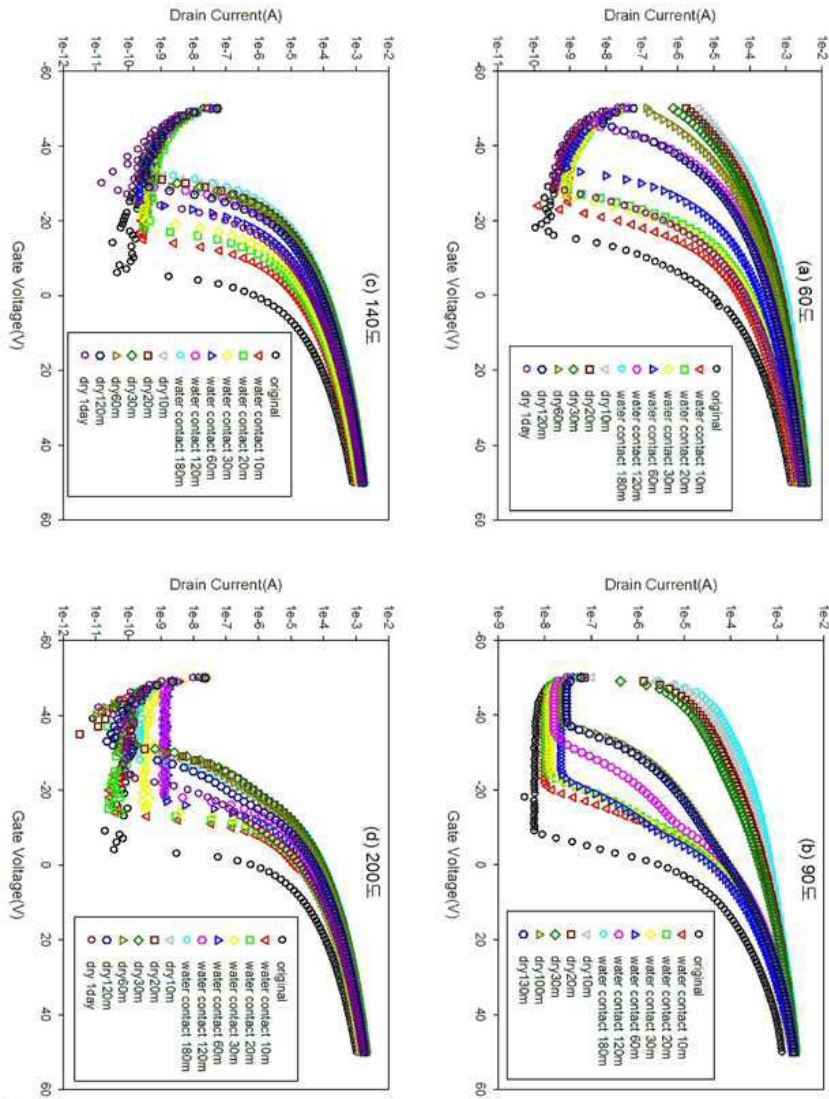
도면12



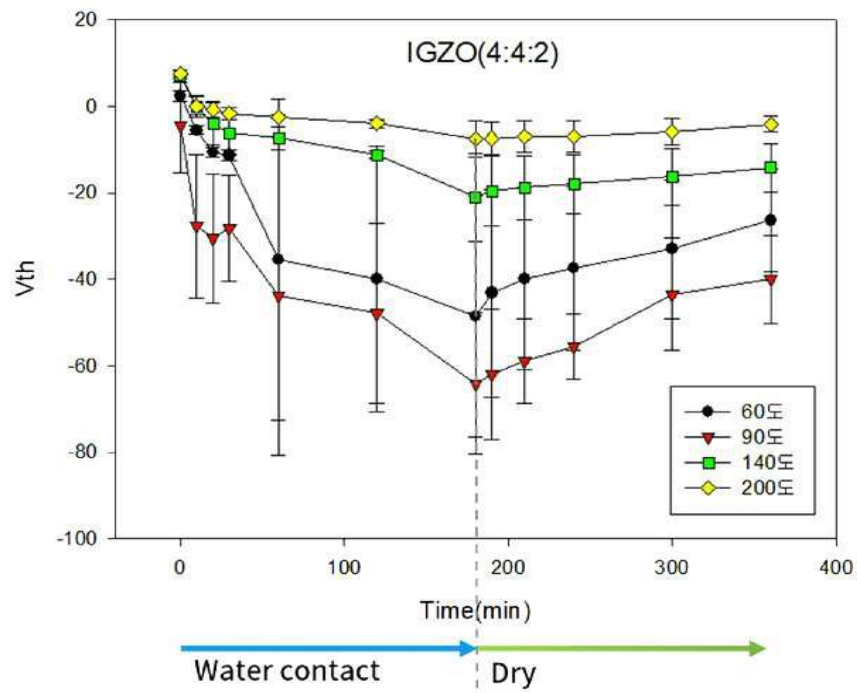
도면13



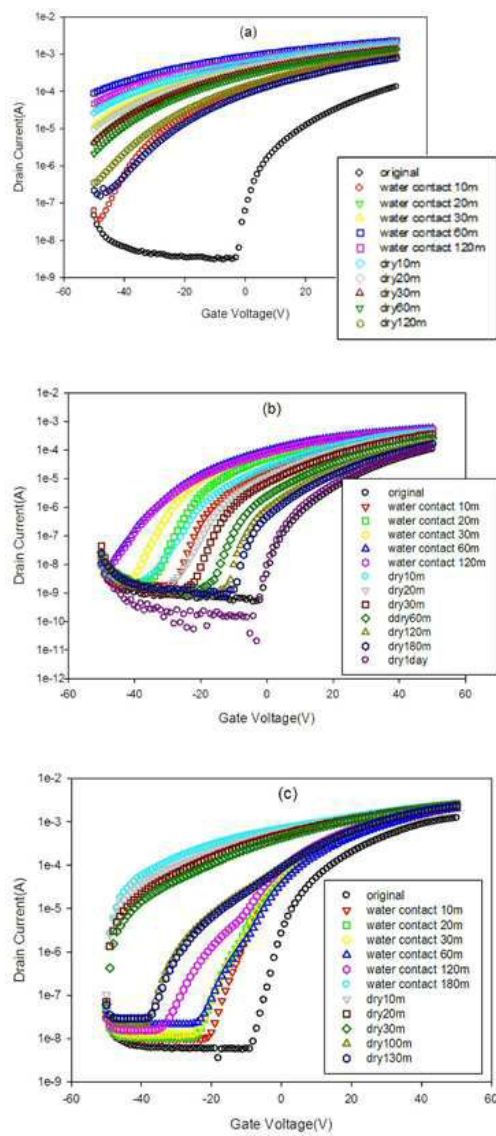
도면14



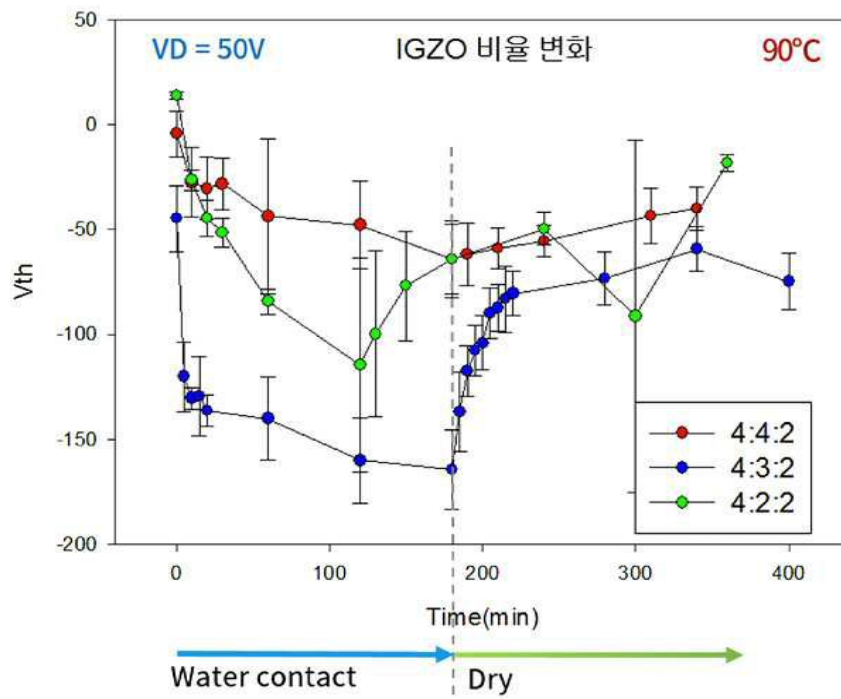
도면15



도면16



도면17



도면18

