



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2020년12월04일
(11) 등록번호 10-2187129
(24) 등록일자 2020년11월30일

- (51) 국제특허분류(Int. Cl.)
H01L 29/786 (2006.01) H01L 21/02 (2006.01)
H01L 29/66 (2006.01)
(52) CPC특허분류
H01L 29/7869 (2013.01)
H01L 21/02266 (2013.01)
(21) 출원번호 10-2019-0089171
(22) 출원일자 2019년07월23일
심사청구일자 2019년07월23일
(56) 선행기술조사문헌
KR1020150136726 A*
KR1020170096431 A*
KR1020110078596 A
KR1020140143844 A
*는 심사관에 의하여 인용된 문헌

- (73) 특허권자
연세대학교 산학협력단
서울특별시 서대문구 연세로 50 (신촌동, 연세대학교)
(72) 발명자
김현재
서울특별시 마포구 마포대로 195, 402동 1101호(아현동, 마포 래미안 푸르지오)
최동현
서울특별시 마포구 신촌로12다길 20, 711호(노고산동, 스테이하이 오피스텔)
(74) 대리인
(뒷면에 계속)
특허법인우인

전체 청구항 수 : 총 16 항

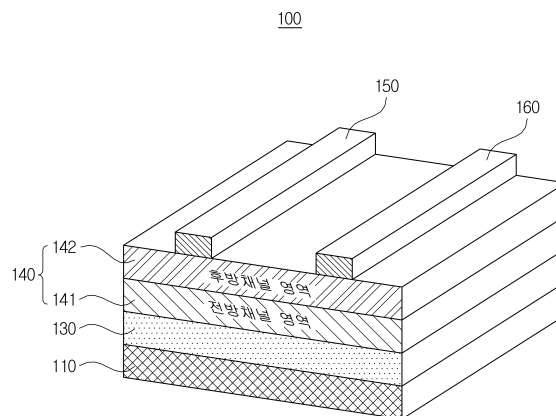
심사관 : 임창연

(54) 발명의 명칭 산소 분압 조절을 통한 이중접합 산화물 박막 트랜지스터 및 그의 제조 방법

(57) 요약

본 발명에 따르면, 산화물 박막 증착 시 산소 분압을 조절하고 증착 후 산화물 박막에 환원제 처리를 하여 산화물 박막 내 산소 공공을 조절할 수 있으며, 이를 통해 박막 내 캐리어(carrier) 농도를 조절하여 양의 값을 가지는 V_{th} 와 높은 이동도를 동시에 가질 수 있는 산화물 박막 트랜지스터 및 그의 제조 방법이 개시된다.

대표도 - 도1



(52) CPC특허분류

H01L 29/66318 (2013.01)

H01L 29/66742 (2013.01)

H01L 29/737 (2013.01)

H01L 29/78606 (2013.01)

H01L 29/78618 (2013.01)

H01L 29/78696 (2013.01)

(72) 발명자

이회수

서울특별시 성북구 종암로9길 71, 214동 1601호(중암동, 종암2차 아이파크)

박정우

서울특별시 서대문구 연희로 158, 708호(연희동, 파라다이스텔레스비)

김원기

경기도 고양시 일산동구 성현로 335(문봉동)

유혁준

서울특별시 서대문구 신촌로7안길 66, 303호(창천동)

김형태

서울특별시 양천구 목동동로 100, 1315동 302호(신정동, 목동신시가지아파트13단지)

김민성

서울특별시 서대문구 연희로 83, 비동 704호(연희동, 은혜빌딩)

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호 2017R1A2B3008719

부처명 과학기술정보통신부

과제관리(전문)기관명 한국연구재단

연구사업명 중견연구자지원사업

연구과제명 지능형 디스플레이를 위한 산화물 기반 CMOS image-sensor on panel (CIP) 기술 개

발

기 여 율 1/1

과제수행기관명 연세대학교 산학협력단

연구기간 2019.03.01 ~ 2020.02.29

명세서

청구범위

청구항 1

산화물 박막 트랜지스터에 있어서,

게이트 전극; 상기 게이트 전극과 연결되는 게이트 절연막; 및 상기 게이트 절연막과 연결되는 산화물 박막을 포함하고,

상기 산화물 박막은, 적어도 일부가 용액 공정으로 처리된 후방 채널 영역(back channel region)과 상기 산화물 박막 증착 시 산소 분압을 조절하여 형성되는 전방 채널 영역(front channel region)을 포함하며, 상기 전방 채널 영역과 상기 후방 채널 영역 사이의 계면에 고농도의 전자를 속박할 수 있는 이중 산화물 채널층 구조인 것을 특징으로 하는 산화물 박막 트랜지스터.

청구항 2

삭제

청구항 3

삭제

청구항 4

제1항에 있어서,

상기 용액 공정은, 상기 산화물 박막이 환원력이 있는 물질이 녹아있는 수용액에 침지(dipping)되어 처리되는 공정이며,

상기 환원력이 있는 물질은, 디티온산(polythionic acid)($H_2S_2O_6$)의 염을 포함하고, 수용액은 알칼리성 용액인 것을 특징으로 하는 산화물 박막 트랜지스터.

청구항 5

제1항에 있어서,

상기 산화물 박막은, 비정질 인듐 갈륨 징크 옥사이드(amorphous indium-gallium-zinc oxide, a-IGZO), 징크 옥사이드(ZnO), 인듐 징크 옥사이드(IZO), 인듐 틴 옥사이드(ITO), 징크 틴 옥사이드(ZTO), 실리콘 인듐 징크 옥사이드(SIZO), 갈륨 징크 옥사이드(GZO), hafnium 인듐 징크 옥사이드(HIZO), 징크 인듐 틴 옥사이드(ZITO) 및 알루미늄 징크 틴 옥사이드(AZTO) 중 어느 하나의 산화물을 포함하는 것을 특징으로 하는 산화물 박막 트랜지스터.

청구항 6

제1항에 있어서,

상기 전방 채널 영역(front channel region)은, 산소 스퍼터링(sputtering) 공정 조건에서 상기 산소 분압이 증가하여, 상기 전방 채널 영역 내의 산소 공공의 농도가 낮아지며, 전방 채널 영역의 페르미 에너지 준위(E_F)가 감소하는 것을 특징으로 하는 산화물 박막 트랜지스터.

청구항 7

제6항에 있어서,

상기 후방 채널 영역(back channel region)은, 환원력이 있는 물질이 녹아있는 수용액에 침지(dipping)되어, 상기 후방 채널 영역 내의 산소 공공의 농도가 높아지며, 후방 채널 영역의 페르미 에너지 준위(E_F)가 증가하는 것

을 특징으로 하는 산화물 박막 트랜지스터.

청구항 8

제7항에 있어서,

상기 후방 채널 영역의 페르미 에너지 준위(E_F)가 증가함에 따라 전도대 최소 에너지(E_C)와의 차이는 감소하고, 상기 전방 채널 영역의 페르미 에너지 준위(E_F)가 감소함에 따라 가전자대 최대 에너지(E_V)와의 차이가 감소하여,

상기 전방 채널 영역과 상기 후방 채널 영역을 동일한 물질로 구현하면서 $30\text{cm}^2/\text{Vs}$ 이상의 초고이동도를 갖는 것을 특징으로 하는 산화물 박막 트랜지스터.

청구항 9

제4항에 있어서,

상기 디티온산(polythionic acid)($\text{H}_2\text{S}_2\text{O}_6$)의 염은, 디티온산나트륨(Sodium dithionite)을 포함하며,

상기 산화물 박막은 기 설정된 농도의 디티온산나트륨(Sodium dithionite) 수용액에서 기 설정된 시간 동안 침지된 후, 건조되는 것을 특징으로 하는 산화물 박막 트랜지스터.

청구항 10

제1항에 있어서,

상기 산화물 박막의 상기 전방 채널 영역 또는 상기 후방 채널 영역에 형성된 소스 전극 및 드레인 전극을 더 포함하는 것을 특징으로 하는 산화물 박막 트랜지스터.

청구항 11

제1항에 있어서,

상기 산화물 박막 트랜지스터는,

바텀 게이트(bottom gate) 또는 탑 게이트(top gate)의 구조로 형성되는 것을 특징으로 하는 산화물 박막 트랜지스터.

청구항 12

기판 상에 게이트 전극을 형성하는 단계;

상기 게이트 전극 상에 게이트 절연막을 형성하는 단계;

상기 게이트 절연막 상에 산화물 박막을 형성하는 단계; 및

상기 산화물 박막을 환원력이 있는 물질이 녹아있는 수용액에 침지(dipping)시키는 단계;를 포함하는 것을 특징으로 하는 산화물 박막 트랜지스터의 제조 방법.

청구항 13

제12항에 있어서,

상기 산화물 박막을 형성하는 단계는,

상기 산화물 박막을 증착 시 산소 스퍼터링(sputtering) 공정 조건에서 산소 분압을 조절하는 단계;를 포함하는 것을 특징으로 하는 산화물 박막 트랜지스터의 제조 방법.

청구항 14

제12항에 있어서,

상기 환원력이 있는 물질은, 디티온산(polythionic acid)($\text{H}_2\text{S}_2\text{O}_6$)의 염을 포함하며, 수용액은 알칼리성 용액인

것을 특징으로 하는 산화물 박막 트랜지스터의 제조 방법.

청구항 15

제12항에 있어서,

상기 산화물 박막은, 비정질 인듐 갈륨 징크 옥사이드(amorphous indium-gallium-zinc oxide, a-IGZO), 징크 옥사이드(ZnO), 인듐 징크 옥사이드(IZO), 인듐 틴 옥사이드(ITO), 징크 틴 옥사이드(ZTO), 실리콘 인듐 징크 옥사이드(SIZO), 갈륨 징크 옥사이드(GZO), 하프늄 인듐 징크 옥사이드(HIZO), 징크 인듐 틴 옥사이드(ZITO) 및 알루미늄 징크 틴 옥사이드(AZTO) 중 어느 하나의 산화물을 포함하는 것을 특징으로 하는 산화물 박막 트랜지스터의 제조 방법.

청구항 16

제14항에 있어서,

상기 디티온산(polythionic acid)($H_2S_2O_6$)의 염은, 디티온산나트륨(Sodium dithionite)을 포함하며,

상기 수용액에 침지(dipping)시키는 단계에서, 상기 산화물 박막은 기 설정된 농도의 디티온산나트륨(Sodium dithionite) 수용액에서 기 설정된 시간 동안 침지된 후, 건조되는 것을 특징으로 하는 산화물 박막 트랜지스터의 제조 방법.

청구항 17

산화물 박막을 형성하는 단계;

상기 산화물 박막을 환원력이 있는 물질이 녹아있는 수용액에 침지(dipping)시키는 단계;

게이트 절연막을 형성하는 단계; 및

게이트 전극을 형성하는 단계;를 포함하며,

상기 환원력이 있는 물질은, 디티온산(polythionic acid)($H_2S_2O_6$)의 염을 포함하며, 수용액은 알칼리성 용액인 것을 특징으로 하는 산화물 박막 트랜지스터의 제조 방법.

청구항 18

제17항에 있어서,

상기 산화물 박막을 형성하는 단계 이전에, 기판 상에 완충층(buffer layer)을 형성하는 단계;를 더 포함하며,

상기 산화물 박막을 증착 시 산소 스퍼터링(sputtering) 공정 조건에서 산소 분압을 조절하는 단계;를 더 포함하는 것을 특징으로 하는 산화물 박막 트랜지스터의 제조 방법.

발명의 설명

기술 분야

[0001] 본 발명은 산화물 박막 트랜지스터 및 그의 제조 방법에 관한 것으로, 특히 초고이동도 산화물 박막 트랜지스터 및 그의 제조 방법에 관한 것이다.

배경 기술

[0002] 산화물 반도체는 amorphous-Si과 비교하여 높은 이동도 및 가시광 영역의 투명도, 낮은 공정 온도, 그리고 상대적으로 저렴한 공정 비용 등의 장점이 있다.

[0003] 기존의 이종 채널(heterogeneous channel) 기반 초고이동도 산화물 박막 트랜지스터는 전방 채널 영역(front channel)에 높은 캐리어 농도를 가지는 산화물 박막을 사용하여 구현하였으나 V_{th} 가 음의 방향으로 이동하는 문제점이 존재한다.

[0004] 또한, 종래의 In-Ga-Zn-O 기반의 산화물 반도체 스위칭 소자는 비교적 낮은 이동도를 가지고 있으므로 초고이동

도 산화물 박막 트랜지스터가 필요하다.

발명의 내용

해결하려는 과제

- [0005] 본 발명은 산화물 박막 트랜지스터 및 그의 제조 방법으로 산화물 박막 트랜지스터는 진공 공정을 기반으로 산화물 반도체를 적층하여 두 층의 계면에 고농도의 전자를 인위적으로 속박(confinement) 할 수 있는 이중 산화물 채널층(heterogeneous oxide channel layer, HOL)구조로써, 국부적으로 캐리어의 농도를 기존 산화물 박막 트랜지스터(TFT)보다 훨씬 높일 수 있으며, 퍼컬레이션(Percolation) 이론에 따라 이동도의 증가를 가져오는데 그 목적이 있다.
- [0006] 본 발명의 명시되지 않은 또 다른 목적들은 하기의 상세한 설명 및 그 효과로부터 용이하게 추론할 수 있는 범위 내에서 추가적으로 고려될 수 있다.

과제의 해결 수단

- [0007] 상기 과제를 해결하기 위해, 본 발명의 일 실시예에 따른 산화물 박막 트랜지스터는, 게이트 전극, 상기 게이트 전극과 연결되는 게이트 절연막 및 상기 게이트 절연막과 연결되는 산화물 박막을 포함하고, 상기 산화물 박막은, 적어도 일부가 용액 공정으로 처리된 후방 채널 영역(back channel region)을 포함한다.
- [0008] 여기서, 상기 산화물 박막은, 상기 산화물 박막 증착 시 산소 분압을 조절하여 형성되는 전방 채널 영역(front channel region)을 포함한다.
- [0009] 여기서, 상기 산화물 박막은, 상기 전방 채널 영역과 상기 후방 채널 영역 사이의 계면에 고농도의 전자를 속박할 수 있는 이중 산화물 채널층 구조이다.
- [0010] 여기서, 상기 용액 공정은, 상기 산화물 박막이 환원력이 있는 물질이 녹아있는 수용액에 침지(dipping)되어 처리되는 공정이며, 상기 환원력이 있는 물질은, 디티온산(polythionic acid)($H_2S_2O_6$)의 염을 포함하고, 수용액은 알칼리성 용액이다.
- [0011] 여기서, 상기 산화물 박막은, 비정질 인듐 갈륨 징크 옥사이드(amorphous indium-gallium-zinc oxide, a-IGZO), 징크 옥사이드(ZnO), 인듐 징크 옥사이드(IZO), 인듐 틴 옥사이드(ITO), 징크 틴 옥사이드(ZTO), 실리콘 인듐 징크 옥사이드(SIZO), 갈륨 징크 옥사이드(GZO), 하프늄 인듐 징크 옥사이드(HIZO), 징크 인듐 틴 옥사이드(ZITO) 및 알루미늄 징크 틴 옥사이드(AZTO) 중 어느 하나의 산화물을 포함한다.
- [0012] 여기서, 상기 전방 채널 영역(front channel region)은, 산소 스퍼터링(sputtering) 공정 조건에서 상기 산소 분압이 증가하여, 상기 전방 채널 영역 내의 산소 공공의 농도가 낮아지며, 전방 채널 영역의 페르미 에너지 준위(E_F)가 감소한다.
- [0013] 여기서, 상기 후방 채널 영역(back channel region)은, 상기 환원력이 있는 물질이 녹아있는 수용액에 침지(dipping)되어, 상기 후방 채널 영역 내의 산소 공공의 농도가 높아지며, 후방 채널 영역의 페르미 에너지 준위(E_F)가 증가한다.
- [0014] 여기서, 상기 후방 채널 영역의 페르미 에너지 준위(E_F)가 증가함에 따라 전도대 최소 에너지(E_C)와의 차이는 감소하며, 상기 전방 채널 영역의 페르미 에너지 준위(E_F)가 감소함에 따라 가전자대 최대 에너지(E_V)와의 차이가 감소한다.
- [0015] 여기서, 상기 디티온산(polythionic acid)($H_2S_2O_6$)의 염은, 디티온산나트륨(Sodium dithionite)을 포함하며, 상기 산화물 박막은 기 설정된 농도의 디티온산나트륨(Sodium dithionite) 수용액에서 기 설정된 시간 동안 침지된 후, 건조된다.
- [0016] 여기서, 상기 산화물 박막의 상기 전방 채널 영역 또는 상기 후방 채널 영역에 형성된 소스 전극 및 드레인 전극을 더 포함한다.
- [0017] 여기서, 상기 산화물 박막 트랜지스터는, 바텀 게이트(bottom gate) 또는 탑 게이트(top gate)의 구조로 형성된다.

- [0018] 본 발명의 일 실시예에 따른 산화물 박막 트랜지스터의 제조 방법은, 기판 상에 게이트 전극을 형성하는 단계, 상기 게이트 전극 상에 게이트 절연막을 형성하는 단계, 상기 게이트 절연막 상에 산화물 박막을 형성하는 단계 및 상기 산화물 박막을 환원력이 있는 물질이 녹아있는 수용액에 침지(dipping)시키는 단계를 포함한다.
- [0019] 여기서, 상기 산화물 박막을 형성하는 단계는, 상기 산화물 박막을 증착 시 산소 스퍼터링(sputtering) 공정 조건에서 산소 분압을 조절하는 단계를 포함한다.
- [0020] 여기서, 상기 환원력이 있는 물질은, 디티온산(polythionic acid)($H_2S_2O_6$)의 염을 포함하며, 수용액은 알칼리성 용액이다.
- [0021] 여기서, 상기 산화물 박막은, 비정질 인듐 갈륨 징크 옥사이드(amorphous indium-gallium-zinc oxide, a-IGZO), 징크 옥사이드(ZnO), 인듐 징크 옥사이드(IZO), 인듐 틴 옥사이드(ITO), 징크 틴 옥사이드(ZTO), 실리콘 인듐 징크 옥사이드(SIZO), 갈륨 징크 옥사이드(GZO), hafnium 인듐 징크 옥사이드(HIZO), 징크 인듐 틴 옥사이드(ZITO) 및 알루미늄 징크 틴 옥사이드(AZTO) 중 어느 하나의 산화물을 포함한다.
- [0022] 여기서, 상기 디티온산(polythionic acid)($H_2S_2O_6$)의 염은, 디티온산나트륨(Sodium dithionite)을 포함하며, 상기 수용액에 침지(dipping)시키는 단계에서, 상기 산화물 박막은 기 설정된 농도의 디티온산나트륨(Sodium dithionite) 수용액에서 기 설정된 시간 동안 침지된 후, 건조된다.
- [0023] 본 발명의 또 다른 실시예에 따른 산화물 박막 트랜지스터의 제조 방법은, 산화물 박막을 형성하는 단계, 상기 산화물 박막을 환원력이 있는 물질이 녹아있는 수용액에 침지(dipping)시키는 단계, 게이트 절연막을 형성하는 단계 및 게이트 전극을 형성하는 단계를 포함하며, 상기 환원력이 있는 물질은, 디티온산(polythionic acid)($H_2S_2O_6$)의 염을 포함하며, 수용액은 알칼리성 용액이다.
- [0024] 여기서, 상기 산화물 박막을 형성하는 단계 이전에, 기판 상에 완충층(buffer layer)을 형성하는 단계를 더 포함하며, 상기 산화물 박막을 증착 시 산소 스퍼터링(sputtering) 공정 조건에서 산소 분압을 조절하는 단계를 더 포함한다.

발명의 효과

- [0025] 이상에서 설명한 바와 같이 본 발명의 실시예들에 의하면, 진공 공정을 기반으로 산화물 반도체를 적층하여 두 층의 계면에 고농도의 전자를 인위적으로 속박(confinement) 할 수 있는 이종 산화물 채널층(heterogeneous oxide channel layer, HOL)구조로써, 국부적으로 캐리어의 농도를 기존 산화물 박막 트랜지스터(TFT)보다 훨씬 높일 수 있으며, 퍼컬레이션(Percolation) 이론에 따라 이동도의 증가를 가져올 수 있다.
- [0026] 여기에서 명시적으로 언급되지 않은 효과라 하더라도, 본 발명의 기술적 특징에 의해 기대되는 이하의 명세서에서 기재된 효과 및 그 잠정적인 효과는 본 발명의 명세서에 기재된 것과 같이 취급된다.

도면의 간단한 설명

- [0027] 도 1은 본 발명의 실시예에 따른 산화물 박막 트랜지스터의 구조를 도시한 것이다.
- 도 2는 본 발명의 또 다른 실시예에 따른 산화물 박막 트랜지스터의 구조를 도시한 것이다.
- 도 3은 본 발명의 실시예에 따른 산화물 박막 트랜지스터의 구조와 에너지 밴드 다이어그램 모식도를 나타낸 것이다.
- 도 4는 본 발명의 실시예에 따른 산화물 박막 트랜지스터의 제조 방법에 따른 페르미 에너지 레벨 조절 모식도를 나타낸 것이다.
- 도 5는 본 발명의 일 실시예에 따른 산화물 박막 트랜지스터의 제조 방법을 나타낸 흐름도이다.
- 도 6은 본 발명의 또 다른 실시예에 따른 산화물 박막 트랜지스터의 제조 방법을 나타낸 흐름도이다.
- 도 7은 본 발명의 실시예에 따른 산화물 박막 트랜지스터의 제조 방법에서, 산화물 박막을 수용액에 침지(dipping)시키는 단계를 예로 들어 도시한 것이다.
- 도 8은 본 발명의 실시예에 따른 산화물 박막 트랜지스터의 제조 방법에서, 침지 시간에 따른 구동 전압의 변화를 나타낸 그래프이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

- [0028] 이하, 본 발명에 관련된 산화물 박막 트랜지스터 및 그의 제조 방법에 대하여 도면을 참조하여 보다 상세하게 설명한다. 그러나, 본 발명은 여러 가지 상이한 형태로 구현될 수 있으며, 설명하는 실시예에 한정되는 것이 아니다. 그리고, 본 발명을 명확하게 설명하기 위하여 설명과 관계없는 부분은 생략되며, 도면의 동일한 참조부호는 동일한 부재임을 나타낸다.
- [0029] 어떤 구성요소가 다른 구성요소에 "연결되어" 있다거나 "접속되어" 있다고 언급된 때에는, 그 다른 구성요소에 직접적으로 연결되어 있거나 또는 접속되어 있을 수도 있지만, 중간에 다른 구성요소가 존재할 수도 있다고 이해되어야 할 것이다.
- [0030] 이하의 설명에서 사용되는 구성요소에 대한 접미사 “모듈” 및 “부”는 명세서 작성의 용이함만이 고려되어 부여되거나 혼용되는 것으로서, 그 자체로 서로 구별되는 의미 또는 역할을 갖는 것은 아니다.
- [0031] 제1, 제2 등의 용어는 다양한 구성요소들을 설명하는데 사용될 수 있지만, 구성요소들은 용어들에 의해 한정되어서는 안 된다. 상기 용어들은 하나의 구성요소를 다른 구성요소로부터 구별하는 목적으로만 사용된다.
- [0032] 본 발명은 산화물 박막 트랜지스터 및 그의 제조 방법에 관한 것이다.
- [0033] 도 1은 본 발명의 실시예에 따른 산화물 박막 트랜지스터의 구조를 도시한 것이다.
- [0034] 도 1을 참조하면, 본 발명의 실시예에 따른 산화물 박막 트랜지스터(100)는 게이트 전극(110), 게이트 절연막(130), 산화물 박막(140), 소스 전극(150), 드레인 전극(160)을 포함한다.
- [0035] 본 발명의 실시예에 따른 산화물 박막 트랜지스터(100)는 이종 산화물 채널층 구조(Heterogeneous structure of oxide channel layer, HOL)를 기반한 초고이동도, 고신뢰성 산화물 반도체 박막 트랜지스터이다.
- [0036] 기존의 이종 채널(heterogeneous channel) 기반 초고이동도 산화물 박막 트랜지스터 연구는 전방 채널 영역(front channel)에 높은 캐리어 농도를 가지는 산화물 박막을 사용하여 구현했지만 V_{th} 가 음의 방향으로 이동하는 문제점이 존재하였다.
- [0037] 본 발명의 실시예에 따른 산화물 박막 트랜지스터는 스퍼터링(sputtering)을 이용한 산화물 박막 증착 시 산소 분압을 조절하고 증착 후 산화물 박막에 환원제 처리를 하여 산화물 박막 내 산소 공공을 조절할 수 있으며, 이를 통해 박막 내 캐리어(carrier) 농도를 조절하여 양의 값을 가지는 V_{th} 와 높은 이동도를 동시에 가질 수 있다.
- [0038] 게이트 전극(110)은 기판 상에 형성된다. 여기서, 기판(미도시)은 PI(Polyimide), PC(Polycarbonate), PES(Polyethersulfone), PET(Polyethyleneterephthalate), PEN(Polyethylenenaphthalate), PAR(Polyarylate), FPR(Glass Fiber Reinforced Plastic) 등의 플라스틱과 같은 플렉서블 기판일 수 있으며, 유리(glass)나 석영 재질의 기판일 수도 있다.
- [0039] 게이트 전극(110)은 기판 상에 몰리브덴(Mo) 또는 알루미늄(Al) 등과 같은 금속 물질을 증착 및 패터닝하여 형성될 수 있다. 또는, P^+-Si 웨이퍼를 게이트 전극으로 이용할 수 있다.
- [0040] 게이트 절연막(130)은 상기 게이트 전극 상에 형성된다. 기판 및 게이트 전극(110) 상에 산화물 또는 질화물 등을 증착하여 게이트 절연막(130)을 형성하며, 예를 들어, 건식 산화(Dry Oxidation) 방식으로 실리콘 산화물(SiO_2)을 증착하여 게이트 절연막(130)을 형성할 수 있다. 그러나, 게이트 절연막(130)을 구성하는 물질 및 공정 방법은 이에 한정되지 않으며, 공지된 다른 물질 및 다른 방법들이 이용될 수도 있다.
- [0041] 산화물 박막(140)은 상기 게이트 절연막 상에 형성된다.
- [0042] 여기서, 산화물 박막은, 비정질 인듐 갈륨 징크 옥사이드(amorphous indium-gallium-zinc oxide, a-IGZO), 징크 옥사이드(ZnO), 인듐 징크 옥사이드(IZO), 인듐 텅 옥사이드(ITO), 징크 텅 옥사이드(ZTO), 실리콘 인듐 징크 옥사이드(SIZO), 갈륨 징크 옥사이드(GZO), 하프늄 인듐 징크 옥사이드(HIZO), 징크 인듐 텅 옥사이드(ZITO) 및 알루미늄 징크 텅 옥사이드(AZTO) 중 어느 하나의 산화물을 포함한다. 그러나, 산화물을 구성하는 물질은 이에 한정되지 않는다.
- [0043] 이 같은 산화물로 이루어진 박막은 비정질이지만 높은 이동도를 가지며, 밴드갭이 커서 투명성을 갖는 것으로, 투명 디스플레이에 적용이 가능하다.

- [0044] 산화물은 스퍼터링 공정, CVD(Chemical Vapor Deposition) 공정, ALD(Atomic Layer Deposition) 공정 및 용액 공정 중 어느 하나의 공정에 의해 증착될 수 있다.
- [0045] 일반적인 초고이동도 산화물 박막 트랜지스터는 초고이동도를 구현하기 위해, front channel에 기존의 산화물 박막 트랜지스터로 사용되는 물질이 아닌 고이동도 특성을 지니는 산화물만을 사용하여 산화물 반도체 선택에 큰 제약이 존재한다.
- [0046] 따라서, 본 발명의 실시예에 따른 산화물 박막 트랜지스터(100)는 산화물 증착 조건 조절 및 환원제 처리 등을 통해 산화물 박막의 페르미 에너지 준위를 제어하여 HOL 계면에서의 전자 속박 조절을 통한 고이동도 특성을 구현한다.
- [0047] 산화물 박막(140)은 전방 채널 영역(141), 후방 채널 영역(142)을 포함한다.
- [0048] 전방 채널 영역(141)은 상기 산화물 박막 증착 시 스퍼터링(sputtering) 공정 조건에서 산소 분압을 조절하여 형성된다.
- [0049] 후방 채널 영역(142)은 산화물 박막의 적어도 일부가 환원력이 있는 물질이 녹아있는 수용액에 침지(dipping)되어 처리된다.
- [0050] 산화물 박막의 침지는, 구조물 전체를 환원력이 있는 물질이 녹아있는 수용액에 침지시키는 방식을 이용할 수도 있으며, 산화물 박막만 침지시킬 수도 있다.
- [0051] 산소 공공은 산화물 반도체에서 캐리어를 제공하는 역할을 수행하기 때문에, 스퍼터링 증착 조건 조절 및 환원제 처리 등을 통해 산화물 박막의 산소 공공을 조절하면 산화물 박막 내 캐리어 농도를 조절할 수 있고, 이를 통해 산화물 박막의 페르미 에너지 준위 조절이 가능하게 된다. 결과적으로, HOL의 두 산화물 반도체의 페르미 에너지 준위 차이를 조절할 수 있게 되고, HOL 계면에서의 갇힌 전자 농도(confined electron concentration)을 조절할 수 있다. 이를 통해 InZnSnO, InZnO 등 고이동도 채널로 사용되는 산화물과 더불어 InGaZnO 등의 기존에 산화물 박막 트랜지스터의 채널로 사용하는 산화물에도 확대 적용시켜 초고이동도 산화물 박막 트랜지스터를 구현할 수 있다.
- [0052] 또한, 산화물 박막의 상기 후방 채널 영역에 형성된 소스 전극(150) 및 드레인 전극(160)을 더 포함한다.
- [0053] 도 2는 본 발명의 또 다른 실시예에 따른 산화물 박막 트랜지스터의 구조를 도시한 것이다.
- [0054] 도 2를 참조하면, 본 발명의 또 다른 실시예에 따른 산화물 박막 트랜지스터(200)는 기판(210), 완충층(buffer layer)(220), 산화물 박막(230), 게이트 절연막(240), 게이트 전극(250), 소스/드레인 전극(260, 270), 패시베이션(280)을 포함한다.
- [0055] 도 1에 나타난 산화물 박막 트랜지스터는 바텀 게이트(bottom gate) 구조로 설계된 실시예를 도시한 것이나, 본 발명의 다양한 실시예에 따른 산화물 박막 트랜지스터의 구조는 이에 한정되지 않으며, 탑 게이트(top gate) 구조를 포함하는 다양한 구조에서의 적용이 가능하다.
- [0056] 구체적으로, 탑 게이트 산화물 박막 트랜지스터(top gate TFT)의 구조는 아래에서부터 유리(glass) - 완충층(buffer layer) - 후방 채널 영역(back channel) - 전방 채널 영역(front channel) - 게이트 절연막(gate insulator) - 게이트 전극(gate)이 되며, 소스/드레인(source/drain) 전극은 전방 채널 영역(front channel) 측에 연결되는 것이 바람직하다.
- [0057] 소스/드레인 전극(260, 270)은 특정 금속으로 제한되지 아니하고, ZnO 나노와이어 반도체와 옴릭 컨택 (Ohmic contact)이 우수한 금 (Au)/티타늄 (Ti), 백금 (Pt), 은 (Ag) 등을 이용할 수 있다.
- [0058] 패시베이션(280)은 반도체 디바이스의 표면이나 집합부에 적당한 처리를 하고, 유해한 환경을 차단하여 디바이스 특성을 안정화시킬 수 있다.
- [0059] 도 3은 본 발명의 실시예에 따른 산화물 박막 트랜지스터의 구조와 에너지 밴드 다이어그램 모식도를 나타낸 것이다.
- [0060] 도 3의 (a)는 본 발명의 실시예에 따른 산화물 박막 트랜지스터의 구조를 나타낸 것이고, 도 3의 (b)는 에너지 밴드 다이어그램 모식도를 나타낸 것이다.
- [0061] 도 3을 참조하면, 산화물 박막(140)은 전방 채널 영역(141), 후방 채널 영역(142)을 포함한다.

- [0062] 본 발명의 일 실시예에 따른 산화물 박막 트랜지스터는 진공 공정을 기반으로 산화물 반도체를 적층하여 두 층의 계면에 고농도의 전자(145)를 인위적으로 속박(confinement) 할 수 있는 이중 산화물 채널층(heterogeneous oxide channel layer, HOL)구조이다.
- [0063] 이중 산화물 채널층(heterogeneous oxide channel layer, HOL)구조는 서로 다른 산화물 반도체의 적층 구조로서, 국부적으로 캐리어의 농도를 기존 이중(homogeneous) 산화물 박막트랜지스터(TFT)보다 훨씬 높일 수 있으며, 퍼컬레이션(Percolation) 이론에 따라 이동도의 증가를 가져오게 된다.
- [0064] 도 3의 (b)는 에너지 밴드 다이어그램 모식도에 나타난 바와 같이, HOL 구조의 박막을 이용하여 만들어진 트랜지스터(TFT)의 조건은 전방 채널 영역(141)은 낮은 페르미 에너지 준위, 후방 채널 영역(142)은 높은 페르미 에너지 준위이다.
- [0065] 조건에 따라, 두 층의 계면에 고농도의 전자(145)를 인위적으로 속박(confinement) 할 수 있다.
- [0066] 본 발명의 일 실시예에 따른 산화물 박막 트랜지스터 제조 방법은 전방 채널 영역은 스퍼터링(sputtering) 공정 조건을 통해 제어하며, 후방 채널 영역은 $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_4$ 처리를 통해 제어한다.
- [0067] 구체적으로, 전방 채널 영역(141)은 상기 산화물 박막 증착 시 스퍼터링(sputtering) 공정 조건에서 산소 분압을 조절하여 형성된다.
- [0068] 후방 채널 영역(142)은 산화물 박막의 적어도 일부가 환원력이 있는 물질이 녹아있는 수용액에 침지(dipping)되어 처리된다.
- [0069] 이에 따라, 두 산화물 반도체 층의 페르미 에너지 준위를 조절하여 계면에 형성되는 우물형식을 이루도록 설계되는 전도대의 에너지 밴드(conduction band well)에 국부적으로 높은 캐리어 농도를 형성하여 초고이동도 산화물 TFT(Thin-film transistor)를 구현할 수 있다.
- [0070] 여기서, 초고이동도 산화물 TFT는 $\mu_{\text{FET}} > \sim 30\text{cm}^2/\text{Vs}$ 인 산화물 TFT이다.
- [0071] 일반적으로 산소 공공은 Kroger-Vink equation $\text{O}_\text{o}^{\times} \leftrightarrow \text{V}_\text{o}^{\cdot\cdot} + 2\text{e} + 1/2\text{O}_2(\text{gas})$ 에 ($\text{O}_\text{o}^{\times}$: 산화물 박막 구성 산소, $\text{V}_\text{o}^{\cdot\cdot}$: 산소 공공) 기반하여 산화물 반도체의 캐리어 농도를 결정하기 때문에, 산화물 증착 분위기 중 산소 함량과 환원제 농도 및 처리 시간에 따라 산화물 박막 내 산소 공공의 농도가 조절될 수 있어, 결과적으로 산화물 박막의 페르미 에너지 준위를 선택적으로 조절하여 초고이동도 산화물 박막 트랜지스터를 구현할 수 있다. 뿐만 아니라 산화물 박막 내 산소 조성에 따라 V_{th} 를 조절할 수 있기 때문에 초고이동도/고신뢰성 산화물 박막 트랜지스터를 구현할 수 있게 된다.
- [0072] 도 4는 본 발명의 실시예에 따른 산화물 박막 트랜지스터의 제조 방법에 따른 페르미 에너지 레벨 조절 모식도를 나타낸 것이다.
- [0073] 도 4에 나타난 바와 같이, 본 발명의 실시예에 따른 산화물 박막 트랜지스터의 제조 방법은, 디티온산나트륨($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_4$)의 환원력과 스퍼터링 공정조건 (산소 분압 등)을 활용하여 산화물 반도체의 페르미 에너지 준위를 제어한다.
- [0074] 구체적으로, HOL 내 산화물 박막의 물성을 조절하기 위해 산화물 증착 시 스퍼터링 증착 조건을 조절하는 방법과 환원제 물질인 디티온산나트륨($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_4$) 수용액을 산화물 박막에 처리하는 방법을 이용하여 전방/후방(front/back) 산화물 채널 내 산소 공공의 농도를 조절할 수 있다.
- [0075] 전방 채널 영역(141)은 상기 산화물 박막 증착 시 스퍼터링(sputtering) 공정 조건에서 산소 분압을 조절하여 형성된다.
- [0076] 전방 채널 영역(front channel region)은, 스퍼터링(sputtering) 공정 조건(300)에서 상기 산소 분압이 증가하여, 상기 전방 채널 영역 내의 산소 공공의 농도가 낮아진다.
- [0077] 스퍼터링 증착 시 산소 분압이 증가할수록 산화물 박막 내 산소 공공의 농도는 낮아지며, 페르미 에너지 준위는 감소하게 된다.
- [0078] 후방 채널 영역(142)은 산화물 박막의 적어도 일부가 환원력이 있는 물질이 녹아있는 수용액에 침지(dipping)되

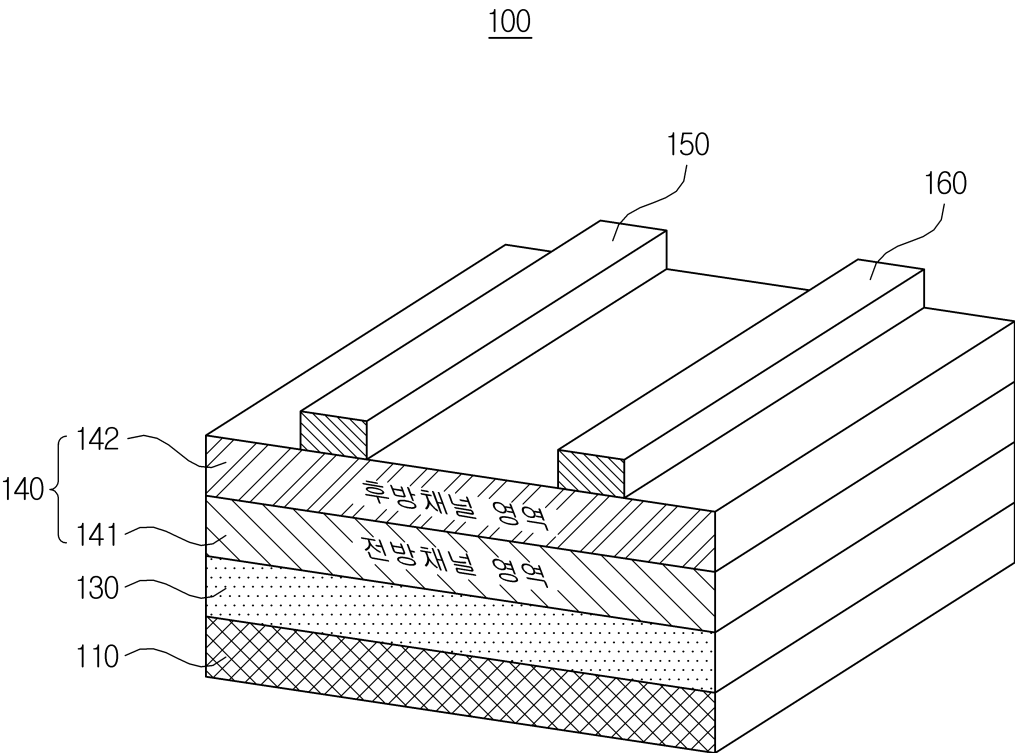
어 처리된다.

- [0079] 후방 채널 영역(back channel region)은, 상기 환원력이 있는 물질이 녹아있는 수용액에 침지(dipping)되어, 상기 후방 채널 영역 내의 산소 공공의 농도가 높아진다.
- [0080] 여기서, 상기 환원력이 있는 물질은, 디티온산(polythionic acid)($H_2S_2O_6$)의 염을 포함하며, 수용액은 알칼리성 용액이다.
- [0081] 구체적으로, 상기 디티온산(polythionic acid)($H_2S_2O_6$)의 염은, 디티온산나트륨(Sodium dithionite)을 포함하며, 상기 디티온산나트륨(Sodium dithionite)의 수용액은, 0.5 내지 1.5M(몰농도)인 것이 바람직하며, 침지 시간은 2분 내지 10분인 것이 바람직하다.
- [0082] 한편, 환원제 물질인 디티온산나트륨($Na_2S_2O_4$) 수용액의 농도가 높거나 처리 시간이 길어 질수록 산화물 박막 내 환원 작용이 활발하게 일어나기 때문에 산소 공공의 농도는 높아지며, 페르미 에너지 준위는 증가하게 된다. 이를 통해 진공 공정인 스퍼터링 증착 시 산소 분압 조건과 디티온산나트륨($Na_2S_2O_4$) 수용액 농도 및 처리 시간에 따른 최적의 페르미 에너지 위치와 산소 공공의 조성을 파악하여 높은 이동도와 양의 V_{th} 값을 동시에 가지는 초 고이동도/고신뢰성 산화물 박막 트랜지스터를 제작할 수 있다.
- [0083] 디티온산나트륨($Na_2S_2O_4$)은 아황산표백제 중 가장 강한 환원력을 가지며 물에 쉽게 녹는 특성이 있다.
- [0084] 알칼리성 용액은 안정적이며 강력한 환원력이 있어, 환원제, 표백제, 산소 흡수제 등으로 이용된다.
- [0085] 디티온산나트륨($Na_2S_2O_4$)은 80℃ 이상의 고온에서는 물이 없어도 열분해가 일어나며, 습한 공기중에 노출될 경우, 분해가 일어나 분해열 발생 및 자연 발화 하는 특징이 있다.
- [0086] 본 발명의 일 실시예에 따른 산화물 박막 트랜지스터 제조 방법은, 용액 처리 공정에서, 수용액의 농도와 침지 시간 조절을 통해 산화물 반도체의 특성을 제어할 수 있다.
- [0087] 도 5는 본 발명의 일 실시예에 따른 산화물 박막 트랜지스터의 제조 방법을 나타낸 흐름도이다.
- [0088] 도 5를 참조하면, 본 발명의 일 실시예에 따른 산화물 박막 트랜지스터의 제조 방법은 기판 상에 게이트 전극을 형성하는 단계(S100)에서 시작한다.
- [0089] 단계 S200에서, 상기 게이트 전극 상에 게이트 절연막을 형성한다.
- [0090] 단계 S300에서, 상기 게이트 절연막 상에 산화물 박막을 형성한다.
- [0091] 구체적으로, 산화물 박막 증착 시 스퍼터링(sputtering) 공정 조건에서 산소 분압을 조절하는 단계를 포함한다.
- [0092] 여기서, 상기 산화물 박막은, 비정질 인듐 갈륨 징크 옥사이드(amorphous indium-gallium-zinc oxide, a-IGZO), 징크 옥사이드(ZnO), 인듐 징크 옥사이드(IZO), 인듐 틴 옥사이드(ITO), 징크 틴 옥사이드(ZTO), 실리콘 인듐 징크 옥사이드(SIZO), 갈륨 징크 옥사이드(GZO), 하프늄 인듐 징크 옥사이드(HIZO), 징크 인듐 틴 옥사이드(ZITO) 및 알루미늄 징크 틴 옥사이드(AZTO) 중 어느 하나의 산화물을 포함한다.
- [0093] 단계 S400에서, 상기 산화물 박막을 환원력이 있는 물질이 녹아있는 수용액에 침지(dipping)시키는 단계를 포함한다.
- [0094] 여기서, 상기 환원력이 있는 물질은, 디티온산(polythionic acid)($H_2S_2O_6$)의 염을 포함하며, 수용액은 알칼리성 용액이다.
- [0095] 구체적으로, 상기 디티온산(polythionic acid)($H_2S_2O_6$)의 염은, 디티온산나트륨(Sodium dithionite)을 포함하며, 상기 디티온산나트륨(Sodium dithionite)의 수용액은, 0.5 내지 1.5M(몰농도)인 것이 바람직하다.
- [0096] 단계 S500에서, 산화물 박막의 전방 채널 영역 또는 후방 채널 영역에 소스 전극 및 드레인 전극을 형성한다.
- [0097] 도 6은 본 발명의 또 다른 실시예에 따른 산화물 박막 트랜지스터의 제조 방법을 나타낸 흐름도이다.
- [0098] 도 6을 참조하면, 본 발명의 일 실시예에 따른 산화물 박막 트랜지스터의 제조 방법은 단계 S110에서 기판 상에 완충층(buffer layer)을 형성한다.

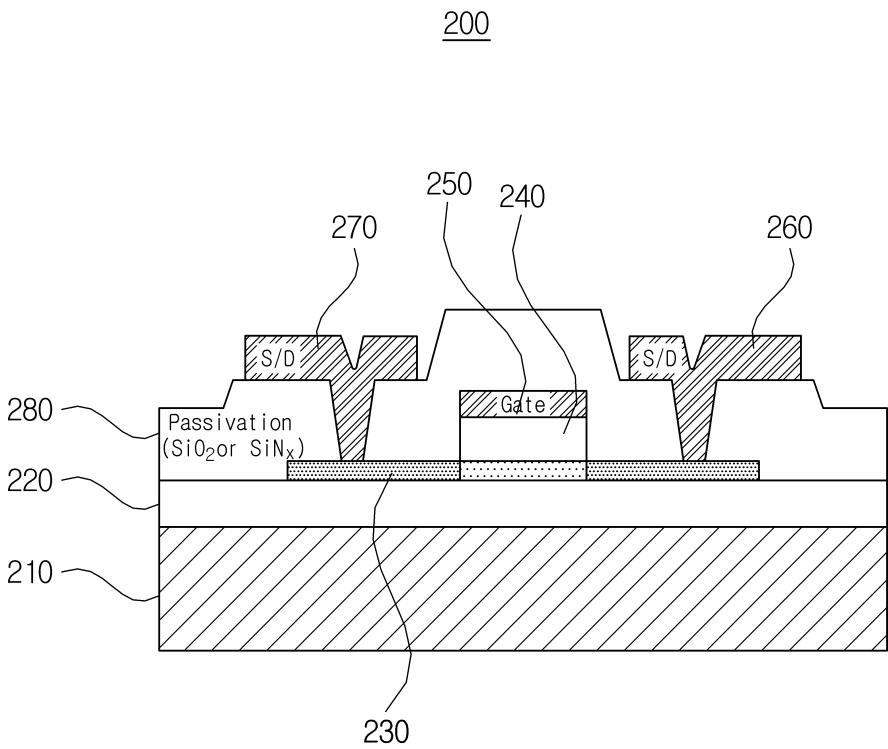
- [0099] 단계 S210에서, 산화물 박막을 환원력이 있는 물질이 녹아있는 수용액에 침지(dipping)시킨다.
- [0100] 단계 S310에서, 상기 산화물 박막 증착 시 산소 스퍼터링(sputtering) 공정 조건에서 산소 분압을 조절한다.
- [0101] 단계 S410에서, 게이트 절연막을 형성하고, 단계 S510에서, 게이트 전극을 형성한다.
- [0102] 단계 S610에서, 산화물 박막의 전방 채널 영역 또는 후방 채널 영역에 소스 전극 및 드레인 전극을 형성한다.
- [0103] 여기서, 상기 산화물 박막은, 비정질 인듐 갈륨 징크 옥사이드(amorphous indium-gallium-zinc oxide, a-IGZO), 징크 옥사이드(ZnO), 인듐 징크 옥사이드(IZO), 인듐 틴 옥사이드(ITO), 징크 틴 옥사이드(ZTO), 실리콘 인듐 징크 옥사이드(SIZO), 갈륨 징크 옥사이드(GZO), hafnium 인듐 징크 옥사이드(HIZO), 징크 인듐 틴 옥사이드(ZITO) 및 알루미늄 징크 틴 옥사이드(AZTO) 중 어느 하나의 산화물을 포함한다.
- [0104] 도 5 및 도 6에서 본 발명의 다양한 실시예에 따른 공정에 순서는 반드시 이에 한정되지 않으며, 산화물 반도체 박막을 수용액에 침지시키는 단계와 산화물 증착 시 스퍼터링 증착 조건을 조절하는 단계는 순차적으로 또는 동시에 공정이 가능할 수 있다.
- [0105] 도 7은 본 발명의 실시예에 따른 산화물 박막 트랜지스터의 제조 방법에서, 산화물 박막을 수용액에 침지(dipping)시키는 단계를 예로 들어 도시한 것이다.
- [0106] 도 7에 나타난 바와 같이, 산화물 박막을 디티온산나트륨($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_4$) 수용액에 침지 시키고, 건조하는(dip & dry) 공정을 통해 IGZO 산화물 박막 트랜지스터의 특성을 변화시킨다.
- [0107] 여기서, 디티온산나트륨(Sodium dithionite)의 수용액은, 0.5 내지 1.5M(몰농도)인 것이 바람직하다.
- [0108] 도 8은 본 발명의 실시예에 따른 산화물 박막 트랜지스터의 제조 방법에서, 침지 시간에 따른 구동 전압의 변화를 나타낸 그래프이다.
- [0109] 도 8은 디티온산나트륨(Sodium dithionite)의 수용액의 농도를 1M로 고정된 뒤, 산화물 박막의 침지 시간을 변화시키면서 구동 전압을 측정한 것이다.
- [0110] 그래프를 통해, 침지(Dipping) 시간이 증가할수록 구동 전류(on current level)가증가하고, V_{th} 가 음의 방향으로 이동되는 것을 확인할 수 있다. IGZO 채널의 페르미 준위(Fermi energy level)가 증가하여 이러한 특성이 나타나는 것을 확인할 수 있다.
- [0111] 기존의 이종 채널(heterogeneous channel) 기반 초고이동도 산화물 박막 트랜지스터 연구는 전방 채널 영역(front channel)에 높은 캐리어 농도 가지는 산화물 박막을 사용하여 구현했지만 V_{th} 가 음의 방향으로 이동하는 문제점이 존재하였다.
- [0112] 본 발명의 실시예에 따른 산화물 박막 트랜지스터는 스퍼터링(sputtering)을 이용한 산화물 박막 증착 시 산소 분압을 조절하고 증착 후 산화물 박막에 환원제 처리를 하여 산화물 박막 내 산소 공공을 조절할 수 있으며, 이를 통해 박막 내 캐리어(carrier) 농도를 조절하여 양의 값을 가지는 V_{th} 와 높은 이동도를 동시에 가질 수 있다.
- [0113] 이상의 설명은 본 발명의 일 실시예에 불과할 뿐, 본 발명이 속하는 기술 분야에서 통상의 지식을 가진 자는 본 발명의 본질적 특성에서 벗어나지 않는 범위에서 변형된 형태로 구현할 수 있을 것이다. 따라서 본 발명의 범위는 전술한 실시예에 한정되지 않고 특허 청구 범위에 기재된 내용과 동등한 범위 내에 있는 다양한 실시 형태가 포함되도록 해석되어야 할 것이다.

도면

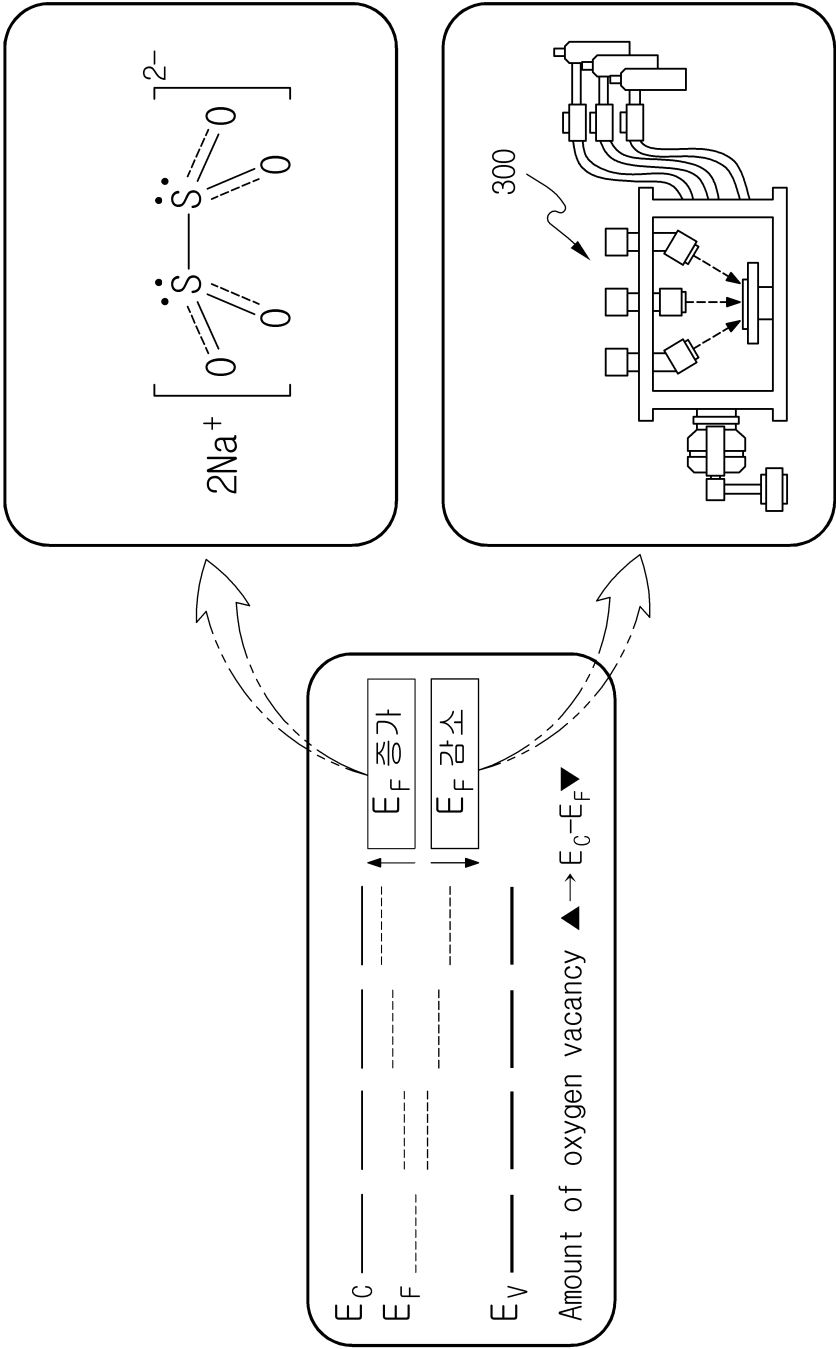
도면1



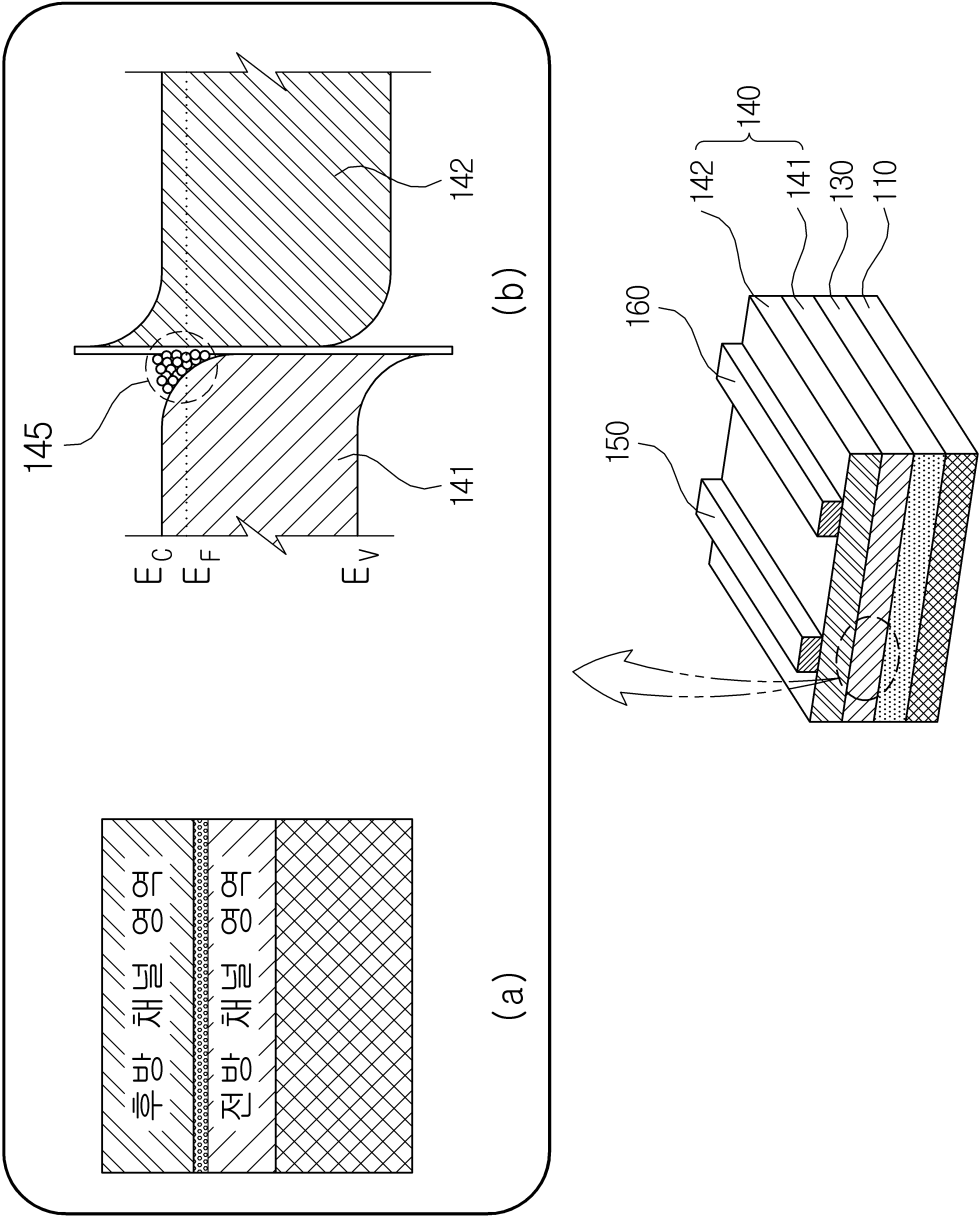
도면2



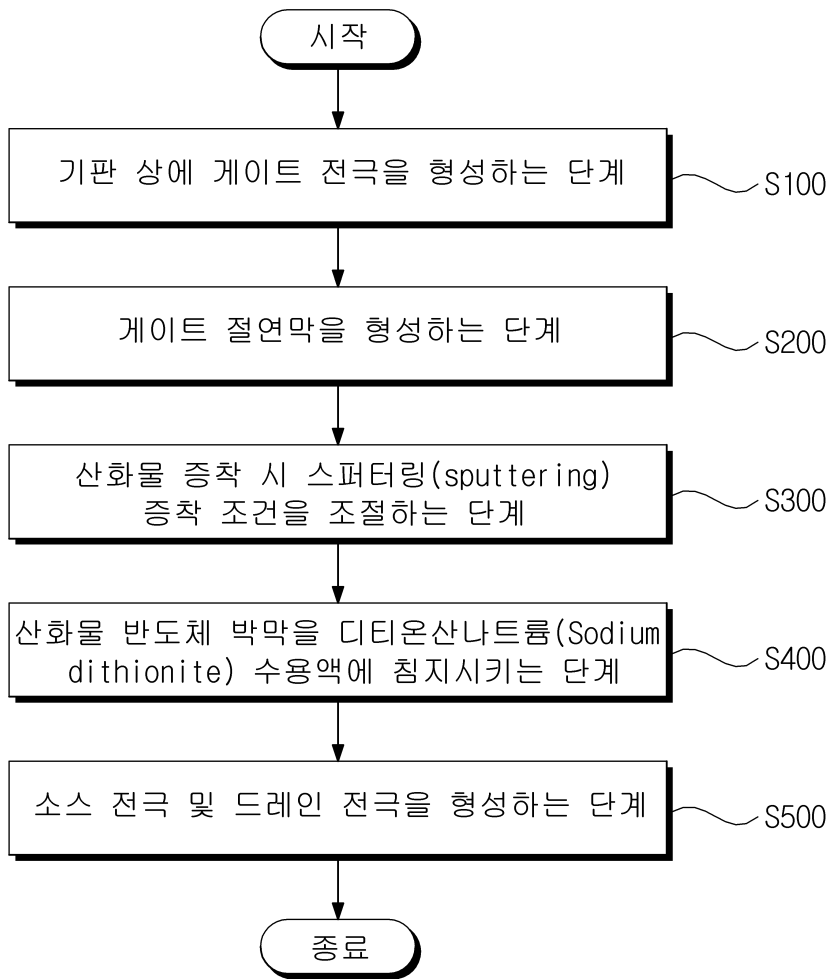
도면3



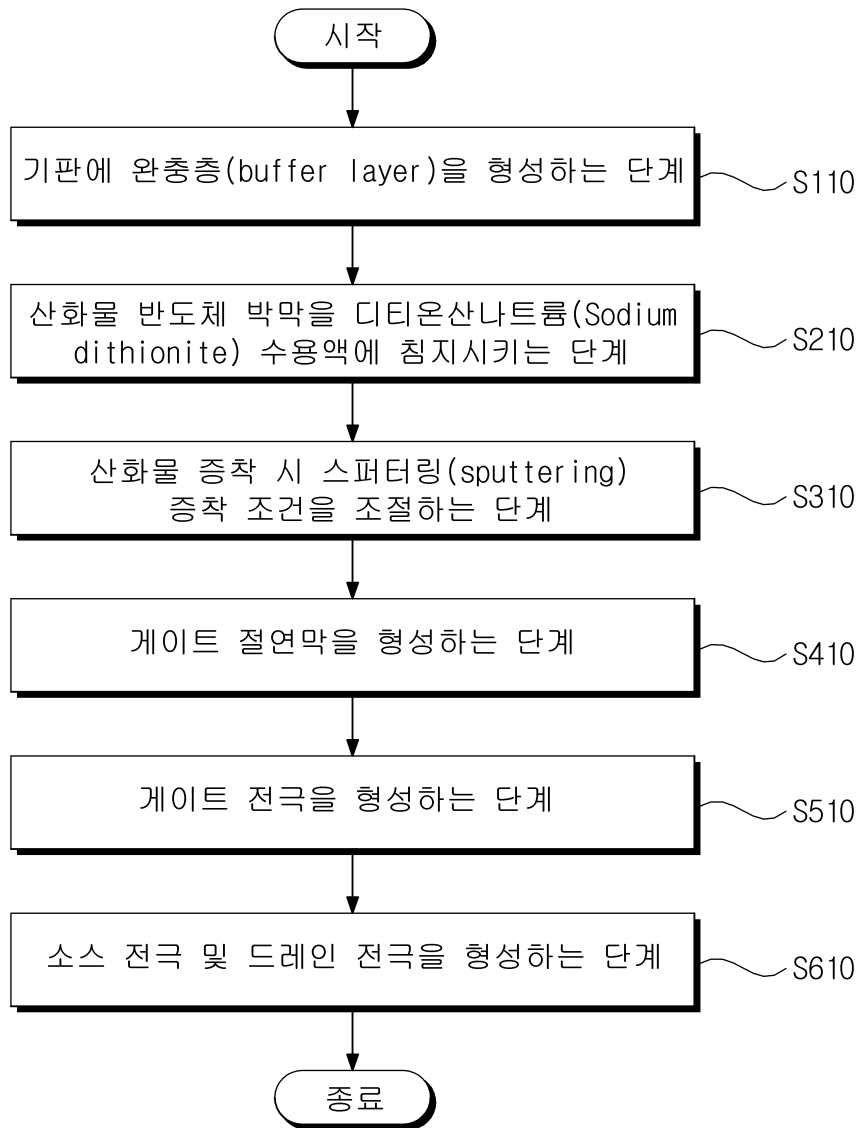
도면4



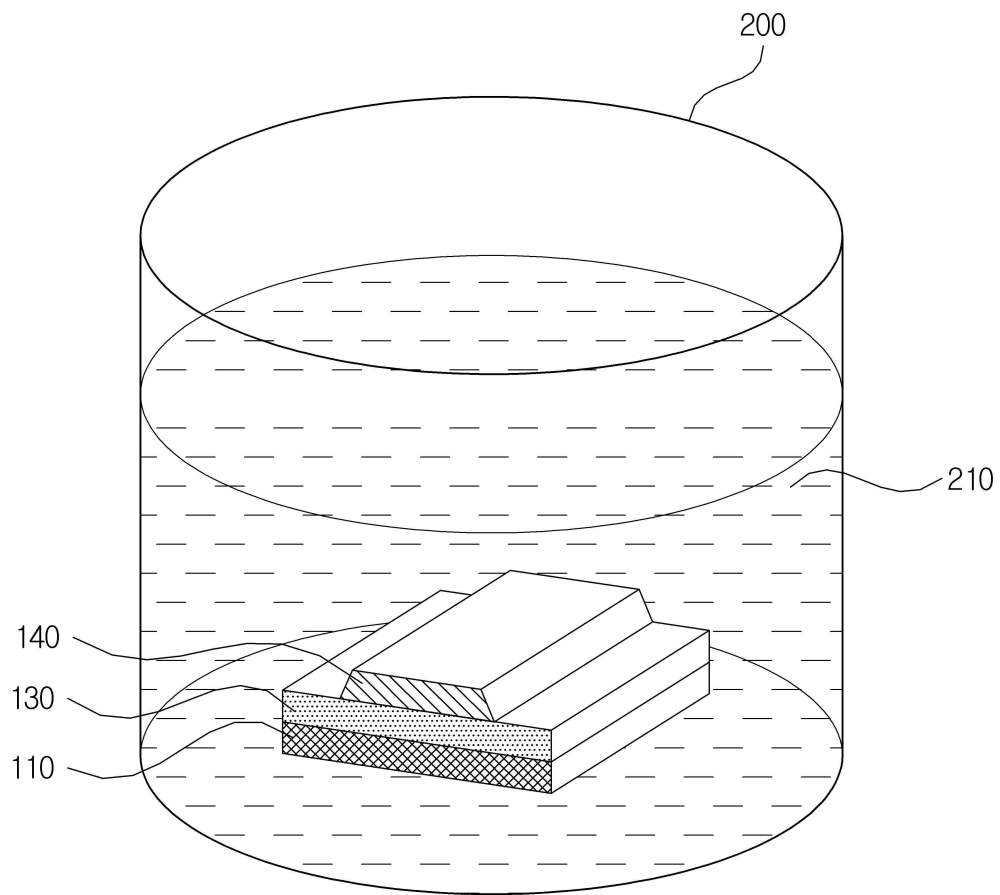
도면5



도면6



도면7



도면8

