



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2023-0065612
(43) 공개일자 2023년05월12일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
H01L 29/872 (2006.01) H01L 29/47 (2006.01)
(52) CPC특허분류
H01L 29/872 (2013.01)
H01L 29/47 (2013.01)
(21) 출원번호 10-2021-0151362
(22) 출원일자 2021년11월05일
심사청구일자 없음

(71) 출원인
현대자동차주식회사
서울특별시 서초구 현릉로 12 (양재동)
기아 주식회사
서울특별시 서초구 현릉로 12 (양재동)
세종대학교산학협력단
서울특별시 광진구 능동로 209 (군자동, 세종대학교)
(72) 발명자
홍정엽
서울특별시 강서구 수명로2길 63, 606동 406호
정태호
경기 용인시 수지구 심곡로 16, 404동 403호
(뒷면에 계속)
(74) 대리인
(유)한양특허법인

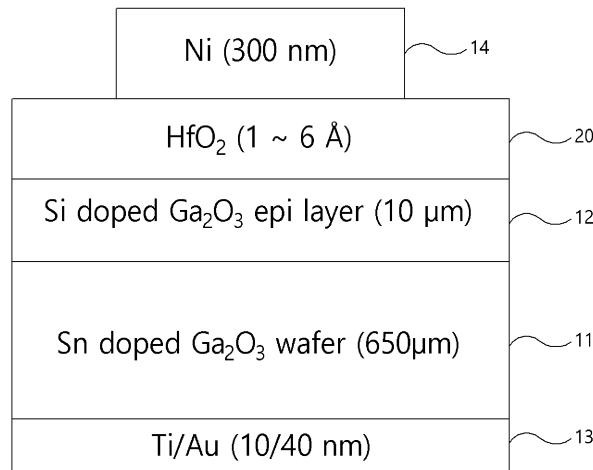
전체 청구항 수 : 총 13 항

(54) 발명의 명칭 베타산화갈륨 기반 쇼트키 배리어 다이오드 및 그것의 제조 방법

(57) 요약

본 발명은 베타산화갈륨(β -Ga₂O₃) 기판, 상기 베타산화갈륨 기판 상에 형성된 드리프트층(drift layer) 및 상기 드리프트층과 쇼트키 금속층(Schottky metal layer) 간에 증착된 산화하프늄(HfO₂)층을 포함하는 베타산화갈륨 기반 쇼트키 배리어 다이오드로서, 본 발명에 의하면, β -Ga₂O₃ 쇼트키 배리어 다이오드(Schottky barrier diode, SBD)의 항복전압 증가에도 온저항 변화가 적은 공정설계 기술 개발을 통해 쉽고 간단한 고성능 소자를 구현할 수 있다.

대표도 - 도4



(72) 발명자

정영균

서울특별시 도봉구 도봉로136길 28, 507동 1401호

박준희

서울특별시 광진구 능동로 209, 208호

임유승

서울특별시 송파구 양재대로 1218, 246동 904호

명세서

청구범위

청구항 1

베타산화갈륨(β -Ga₂O₃) 기판;

상기 베타산화갈륨 기판 상에 형성된 드리프트층(drift layer); 및

상기 드리프트층과 쇼트키 금속층(Schottky metal layer) 간에 증착된 산화하프늄(HfO₂)층을 포함하는,

베타산화갈륨 기반 쇼트키 배리어 다이오드.

청구항 2

청구항 1에 있어서,

상기 하프늄 층의 두께는 1nm 이하인 것을 특징으로 하는,

베타산화갈륨 기반 쇼트키 배리어 다이오드.

청구항 3

청구항 2에 있어서,

상기 하프늄 층의 두께는 1Å 이상 6Å 미만인 것을 특징으로 하는,

베타산화갈륨 기반 쇼트키 배리어 다이오드.

청구항 4

청구항 2에 있어서,

상기 베타산화갈륨 기판은 Sn(주석)이 도핑되고, 상기 드리프트층은 Si(실리콘)이 도핑된 것을 특징으로 하는,

베타산화갈륨 기반 쇼트키 배리어 다이오드.

청구항 5

청구항 4에 있어서,

상기 베타산화갈륨 기판 하면에는 Ti/Au 전극층이 형성되고,

상기 쇼트키 금속층은 Ni(니켈)인 것을 특징으로 하는,

베타산화갈륨 기반 쇼트키 배리어 다이오드.

청구항 6

베타산화갈륨(β -Ga₂O₃) 기판;

상기 베타산화갈륨 기판 상에 형성된 드리프트층(drift layer); 및

상기 드리프트층과 쇼트키 금속층(Schottky metal layer) 간에 증착된 자기조립단분자막(Self-assembled monolayer)을 포함하는,

베타산화갈륨 기반 쇼트키 배리어 다이오드.

청구항 7

청구항 6에 있어서,

상기 자기조립단분자막은 Octadecyltrichlorosilane (OTS, $\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{16}\text{CH}_2\text{SiCl}_3$) 또는 Perfluorodecyltrichlorosilane (FDTS, $\text{CF}_3(\text{CF}_2)_9\text{CH}_2\text{CH}_2\text{SiCl}_3$)인 것을 특징으로 하는,

베타산화갈륨 기반 쇼트키 배리어 다이오드.

청구항 8

청구항 7에 있어서,

상기 베타산화갈륨 기판은 Sn(주석)이 도핑되고, 상기 드리프트층은 Si(실리콘)이 도핑된 것을 특징으로 하는, 베타산화갈륨 기반 쇼트키 배리어 다이오드.

청구항 9

청구항 8에 있어서,

상기 베타산화갈륨 기판 하면에는 Ti/Au 전극층이 형성되고,

상기 쇼트키 금속층은 Ni(니켈)인 것을 특징으로 하는,

베타산화갈륨 기반 쇼트키 배리어 다이오드.

청구항 10

베타산화갈륨($\alpha\text{-Ga}_2\text{O}_3$) 기판 상에 드리프트층(drift layer)을 형성하는 단계;

상기 드리프트층 상에 산화하프늄(HfO_2)층을 증착시키는 단계; 및

상기 산화하프늄층 상에 쇼트키 금속층(Schottky metal layer)을 증착시키는 단계를 포함하는,

베타산화갈륨 기반 쇼트키 배리어 다이오드 제조 방법.

청구항 11

청구항 10에 있어서,

상기 산화하프늄층을 증착시키는 단계는 원자층 증착(atomic layer deposition, ALD)에 의해 6cycle(6Å) 미만으로 증착시키는 것을 특징으로 하는,

베타산화갈륨 기반 쇼트키 배리어 다이오드 제조 방법.

청구항 12

베타산화갈륨($\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$) 기판 상에 드리프트층(drift layer)을 형성하는 단계;

상기 드리프트층 상에 자기조립단분자막(Self-assembled monolayer)을 증착시키는 단계; 및

상기 자기조립단분자막 상에 쇼트키 금속층(Schottky metal layer)을 증착시키는 단계를 포함하는,

베타산화갈륨 기반 쇼트키 배리어 다이오드 제조 방법.

청구항 13

청구항 12에 있어서,

상기 자기조립단분자막은 Octadecyltrichlorosilane (OTS, $\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{16}\text{CH}_2\text{SiCl}_3$) 또는 Perfluorodecyltrichlorosilane (FDTS, $\text{CF}_3(\text{CF}_2)_9\text{CH}_2\text{CH}_2\text{SiCl}_3$)인 것을 특징으로 하는,

베타산화갈륨 기반 쇼트키 배리어 다이오드 제조 방법.

발명의 설명

기술 분야

[0001] 본 발명은 쇼트키 배리어 다이오드에 관한 것으로서, 특히 베타산화갈륨 기반의 쇼트키 배리어 다이오드 및 그것의 제조 방법에 관한 것이다.

배경 기술

- [0002] 쇼트키 배리어 다이오드(Schottky barrier diode, SBD)는 쇼트키 장벽에 의한 정류작용을 이용한 정류소자로서, 낮은 전압 강하와 매우 빠른 스위칭 전환이 고속 동작에 적합한 특징을 가진다.
- [0003] 종래 기술로서 고전압 및 저누설전류 특성 확보를 위해서는 쇼트키 전극의 edge에서 발생하는 spiking field를 억제할 수 있는 field-plate(전계판) 구조 적용이 요구됨. 본 구조를 위해서 사용되는 물질로는 일반적으로 PECVD(Plasma-Enhanced Chemical Vapor Deposition) 기반의 SiO_2 증착이 사용되고 있다.
- [0004] 그러나 산화갈륨과 같은 산화물계열 etch에 있어서 Dry etch 또는 wet etch를 선택할 수 있는데, 선택비가 적어 Hf기반의 wet etch에서는 over etch 시 표면 damage에 의해 drift층의 특성 열화로 많은 결함을 내재하여 고전압 구현을 위한 공정 확립이 쉽지 않다.
- [0005] 또한, SiH gas의 decomposition에 의해 발생하는 hydrogen이 산화갈륨의 전기적 특성을 크게 변화시키기에 소자의 신뢰성 확보가 어렵고, 더 나아가 dry etch에서 또한 표면 damage에 의해 고신뢰성 소자 구현이 쉽지 않다.
- [0006] 이러한 문제점을 해결하기 위해 field-plate 소재로서 ALD를 이용한 Al_2O_3 가 널리 활용되고 있으나 최소 요구 두께(200nm이상)를 확보하기 위해서는 장시간 공정이 필요하며, 이를 해결하기 위해 버퍼(buffe)로 Al_2O_3 를 활용하고 상부에 SiO_2 를 PECVD로 증착하는 2중 구조가 활용되고 있지만 여전히 복잡한 공정을 가진다.
- [0007] 이상의 배경기술에 기재된 사항은 발명의 배경에 대한 이해를 돕기 위한 것으로서, 이 기술이 속하는 분야에서 통상의 지식을 가진 자에게 이미 알려진 종래기술이 아닌 사항을 포함할 수 있다.

선행기술문헌

특허문헌

[0008] (특허문헌 0001) 한국등록특허공보 제10-1435937호

발명의 내용

해결하려는 과제

[0009] 본 발명은 상술한 문제점을 해결하고자 안출된 것으로서, 본 발명은 $\text{m-Ga}_2\text{O}_3$ 쇼트키 배리어 다이오드(Schottky barrier diode, SBD)의 항복전압 증가에도 온저항 변화가 적은 공정설계 기술 개발을 통해 쉽고 간단한 고성능 소자를 구현하는 것을 제공하는 데 그 목적이 있다.

과제의 해결 수단

- [0010] 본 발명의 일 관점에 의한 베타산화갈륨 기반 쇼트키 배리어 다이오드는, 베타산화갈륨($\text{m-Ga}_2\text{O}_3$) 기판, 상기 베타산화갈륨 기판 상에 형성된 드리프트층(drift layer) 및 상기 드리프트층과 쇼트키 금속층(Schottky metal layer) 간에 증착된 산화하프늄(HfO_2)층을 포함한다.
- [0011] 그리고, 상기 하프늄 층의 두께는 1nm 이하인 것을 특징으로 한다.
- [0012] 보다 구체적으로, 상기 하프늄 층의 두께는 1Å 이상 6Å 미만일 수 있다.
- [0013] 또한, 상기 베타산화갈륨 기판은 Sn(주석)이 도핑되고, 상기 드리프트층은 Si(실리콘)이 도핑된 것을 특징으로 한다.
- [0014] 그리고, 상기 베타산화갈륨 기판 하면에는 Ti/Au 전극층이 형성되고, 상기 쇼트키 금속층은 Ni(니켈)인 것을 특

정으로 한다.

- [0015] 다음, 본 발명의 다른 일 관점에 의한 베타산화갈륨 기반 쇼트키 배리어 다이오드는, 베타산화갈륨(α -Ga₂O₃) 기판, 상기 베타산화갈륨 기판 상에 형성된 드리프트층(drift layer) 및 상기 드리프트층과 쇼트키 금속층(Schottky metal layer) 간에 증착된 자기조립단분자막(Self-assembled monolayer)을 포함한다.
- [0016] 여기서, 상기 자기조립단분자막은 Octadecyltrichlorosilane (OTS, CH₃(CH₂)₁₆CH₂SiCl₃) 또는 Perfluorodecyltrichlorosilane (FDTS, CF₃(CF₂)₉CH₂CH₂SiCl₃)인 것을 특징으로 한다.
- [0017] 그리고, 상기 베타산화갈륨 기판은 Sn(주석)이 도핑되고, 상기 드리프트층은 Si(실리콘)이 도핑된 것을 특징으로 한다.
- [0018] 또한, 상기 베타산화갈륨 기판 하면에는 Ti/Au 전극층이 형성되고, 상기 쇼트키 금속층은 Ni(니켈)인 것을 특징으로 한다.
- [0019] 다음으로, 본 발명의 일 관점에 의한 베타산화갈륨 기반 쇼트키 배리어 다이오드의 제조 방법은, 베타산화갈륨(α -Ga₂O₃) 기판 상에 드리프트층(drift layer)을 형성하는 단계, 상기 드리프트층 상에 산화하프늄(HfO₂)층을 증착시키는 단계 및 상기 산화하프늄층 상에 쇼트키 금속층(Schottky metal layer)을 증착시키는 단계를 포함한다.
- [0020] 그리고, 상기 산화하프늄층을 증착시키는 단계는 원자층 증착(atomic layer deposition, ALD)에 의해 6cycle(6 Å) 미만으로 증착시키는 것을 특징으로 한다.
- [0021] 또한, 본 발명의 다른 일 관점에 의한 베타산화갈륨 기반 쇼트키 배리어 다이오드의 제조 방법은, 베타산화갈륨(α -Ga₂O₃) 기판 상에 드리프트층(drift layer)을 형성하는 단계, 상기 드리프트층 상에 자기조립단분자막(Self-assembled monolayer)을 증착시키는 단계 및 상기 자기조립단분자막 상에 쇼트키 금속층(Schottky metal layer)을 증착시키는 단계를 포함한다.
- [0022] 여기서, 상기 자기조립단분자막은 Octadecyltrichlorosilane (OTS, CH₃(CH₂)₁₆CH₂SiCl₃) 또는 Perfluorodecyltrichlorosilane (FDTS, CF₃(CF₂)₉CH₂CH₂SiCl₃)인 것을 특징으로 한다.

발명의 효과

- [0023] 본 발명의 베타산화갈륨 기반 쇼트키 배리어 다이오드 및 그것의 제조 방법에 의하면, 차세대 전력반도체 소재인 α -Ga₂O₃ 기반 파워 소자 공정에 요구되는 인터페이스 제어를 통한 높은 항복전압 및 낮은 누설전류단 확보가 가능하다.

도면의 간단한 설명

- [0024] 도 1 내지 도 3은 종래 쇼트키 배리어 다이오드의 예를 도시한 것이다.
- 도 4는 본 발명의 제1 실시예에 의한 쇼트키 배리어 다이오드를 도시한 것이다.
- 도 5는 본 발명의 제2 실시예에 의한 쇼트키 배리어 다이오드를 도시한 것이다.
- 도 6 내지 도 11은 원자층 증착법을 이용한 HfO₂ 두께 변화에 따른 쇼트키 배리어 다이오드의 J-V 특성을 나타낸 것이다.
- 도 12는 HfO₂ 증착 cycle 수에 따른 capacitance-voltage (C-V) 측정 결과이다.
- 도 13 내지 도 15는 Self-assembled monolayer (SAM) 처리 전 후 표면 contact angle 변화를 나타낸 것이다.
- 도 16 및 도 17은 Self-assembled monolayer (SAM) 유무에 따른 쇼트키 배리어 다이오드의 J-V 특성을 나타낸 것이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

- [0025] 본 발명과 본 발명의 동작상의 이점 및 본 발명의 실시에 의하여 달성되는 목적을 충분히 이해하기 위해서는 본

발명의 바람직한 실시 예를 예시하는 첨부 도면 및 첨부 도면에 기재된 내용을 참조하여야만 한다.

- [0026] 본 발명의 바람직한 실시 예를 설명함에 있어서, 본 발명의 요지를 불필요하게 흐릴 수 있는 공지 기술이나 반복적인 설명은 그 설명을 줄이거나 생략하기로 한다.
- [0027] 전기자동차 인버터 및 충전모듈에 SiC 검토가 진행되고 있고 국내외 자동차 기업들이 앞다투어 기술 확보 및 적용을 시작하고 있다.
- [0028] 초고내압 및 power IC의 요구와 저가 소재에 대한 관심이 증가하고 있고 4H-SiC (3.2 eV)보다 넓은 밴드갭을 갖는 α -Ga₂O₃ (4.8 eV)가 최근 주목받고 있다.
- [0029] 일본/미국이 β -Ga₂O₃ 기반 SBD 및 MOSFET 연구를 주도하고 있고 국내 연구는 소자 제작 및 물질 성장 연구가 진행되고 있으나 소재에 대한 물리적, 화학적 특성 연구, 소자 공정, 신뢰성에 대한 원천연구는 미진한 상황이다.
- [0030] 이 중 α -Ga₂O₃ 기반 인터페이스 제어는 p층 형성, trench기반 MOS구조, 소자 구조 제어(field-plate) 등이 연구되어 오고 있다.
- [0031] 전력 반도체 소자인 쇼트키 다이오드 내의 쇼트키 배리어 특성은 전력 반도체 소자의 누설 전류 및 턴온 전압을 결정짓는 중요한 요소로서, 현재 쇼트키 전극의 재료 변화를 통한 밴드갭 매칭, 쇼트키 계면 내 층 삽입을 통한 전기적 특성 제어에 대한 연구가 진행되고 있다.
- [0032] 도 1 내지 도 3은 종래 쇼트키 배리어 다이오드의 예를 도시한 것이다.
- [0033] 보다 구체적으로 살펴보면, 도 1의 쇼트키 배리어 다이오드는 두꺼운 드리프트층이 낮은 캐리어 농도를 통해 원하는 항복전압 설계가 용이하도록 하였다. 그러나, 드리프트층 저항 증가에 의해 온저항이 증가하여 전기적 특성이 악화된다.
- [0034] 도 2는 Trench MOS 구조로서, 온저항을 유지하고 고내압을 구현하였다. 그러나, step coverage 가 높은 ALD, CMP 과정 등 공정 프로세스가 복잡하다.
- [0035] 도 3은 P-N 접합구조로서 고내압 구현이 용이하지만, 산화갈륨과 매칭되는 P-type 산화물반도체 부재의 문제가 있다.
- [0036] 이에 반해 본 발명은 α -Ga₂O₃ 쇼트키 배리어 다이오드(Schottky barrier diode, SBD)의 항복전압 증가에도 온저항 변화가 적은 공정설계 기술 개발을 통해 쉽고 간단한 고성능 소자를 구현한다.
- [0037] 도 4는 본 발명의 제1 실시예에 의한 쇼트키 배리어 다이오드를 도시한 것이다.
- [0038] 제1 실시예에 의한 쇼트키 배리어 다이오드는 베타산화갈륨 기판(11) 상에 드리프트층(12)이 형성되고, 기판(11) 하면에 Ti/Au 전극층(13)이 형성되고, 드리프트층(12)과 쇼트키 금속층(14, Schottky metal layer) 간에 산화하프늄(HfO₂)층(20)이 증착됨으로써, 표면 결함 치유 특성을 기반한 소자의 누설전류를 감소시키는 결과를 도출한다.
- [0039] 베타산화갈륨 기판(11)은 Sn(주석)이 도핑된(doped) 베타산화갈륨 기판으로서, 예를 들어 650 μ m일 수 있다.
- [0040] 드리프트층(12)은 Si(실리콘)가 도핑된(doped) 베타산화갈륨 10 μ m일 수 있다.
- [0041] Ti/Au 전극층(13)은 10/40nm일 수 있으며, 쇼트키 금속층(14)은 300nm의 Ni(니켈)이 증착 형성될 수 있다.
- [0042] 특히 아주 작은 두께(1Å 이상 6Å 미만)의 HfO₂ 삽입을 통해 누설 전류를 효과적으로 억제하면서 턴온 저항의 증가 역시 억제할 수 있다. 이는 기존 내부층 삽입 방식의 쇼트키 계면 조절이 가지던 제한점을 해결하고, 다양한 나노 구조층을 장벽 제어에 응용할 수 있도록 시사한다.
- [0043] 이와 같이 제1 실시예에 의한 쇼트키 배리어 다이오드는 field-plate를 적용하지 않고도 우수한 저누설전류 및 낮은 온저항 특성을 확보할 수 있는 1nm 이하의 표면 제어 층을 도입하여 공정을 단순화할 수 있다.
- [0044] 차세대 전력반도체 소재인 α -Ga₂O₃ 기반 파워 소자 공정에 요구되는 인터페이스 제어를 통한 높은 항복전압 및 낮은 누설전류 단 확보에 필요한 원천 공정 소자설계 기술로 파급효과가 클 것으로 예상된다.
- [0045] 전력 반도체 소자인 쇼트키 다이오드 내의 쇼트키 배리어 특성은 전력 반도체 소자의 누설 전류 및 턴온 전압을

결정짓는 중요한 요소로서, 현재 쇼트키 전극의 재료 변화를 통한 밴드갭 매칭, 쇼트키 계면 내 층 삽입과 같은 소자설계 접근법 중 하나로 전기적 특성 제어에 대한 기초 연구 결과로 중요성을 지닌다.

- [0046] 특히, 원자층 증착법 기법을 활용하여 매우 정교한 두께 제어와 기존 trench 공정 대비 단순하고 빠른 공정이 가능할 뿐 만 아니라, 항복전압 제어와 높은 순방향 전류 특성을 확보할 수 있는 공정 설계 기술로 원천적 가치가 클 것으로 예상된다.
- [0047] HfO_2 는 5.3~5.7eV를 갖는 절연체(insulator)로서 높은 유전상수(19-21)를 갖는 특징을 갖고 있어 주로 gate dielectric으로 활용되거나 trench MOSFET의 전류 제한을 갖는 용도로 높은 항복전압 확보에 활용되고 있다.
- [0048] $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$ 소자는 표면의 산소결합에 의해 캐리어농도 상승으로 역방향 바이어스 상태에서의 높은 누설전류를 나타내는 특징을 가진다. 본 발명에서는 HfO_2 의 낮은 Electronegativity(전기음성도, 1.3)를 통해 산소와 손쉽게 결합하여 $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$ 소자는 표면의 산소결합에 대한 passivation 특성을 활용한 발명으로 기존 절연체 특성이 아닌 결합치유 특성으로 이용한 내용으로 상이한 연구결과이다.
- [0049] 다음, 도 5는 본 발명의 제2 실시예에 의한 쇼트키 배리어 다이오드를 도시한 것이다.
- [0050] 제2 실시예에 의한 쇼트키 배리어 다이오드는 베타산화갈륨 기판(11), 드리프트층(12), Ti/Au 전극층(13), 쇼트키 금속층(14)은 제1 실시예와 동일하고, 드리프트층(12)과 쇼트키 금속층(14) 간에 1nm 이하의 자기조립단분자막(Self-assembled monolayer, 30)이 증착됨으로써, 누설전류 특성을 개선하고 순방향 전류흐름에서도 유전층 삽입을 통한 전류 감소를 최소화한다.
- [0051] 자기조립단분자막의 경우 상부층 공정 시 etch stop layer(ESL)로서 산화갈륨 표면을 후공정 시 발생하는 문제점을 해결할 수 있다.
- [0052] 자기조립단분자막(Self-assembled monolayer, SAM)은 초발수코팅, 바이오, 전자소자 내 표면 제어 등 다양한 분야에 활용되고 있는 기술로서, functional / head group 조절을 통해 원하는 물질 위에 단분자 막을 코팅하고 상부층 기능을 응용분야에 따라 바꿀 수 있다.
- [0053] 본 발명에서는 산화물 표면에 화학적 결합을 할 수 있는 terminal group으로 silane 계열의 두가지 종류의 SAM을 활용하여 누설전류 억제 효과를 확인하였다. SAM으로 Octadecyltrichlorosilane (OTS, $\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{16}\text{CH}_2\text{SiCl}_3$)와 Perfluorodecyltrichlorosilane (FDTS, $\text{CF}_3(\text{CF}_2)_9\text{CH}_2\text{CH}_2\text{SiCl}_3$)를 사용하였으며, Head group으로는 OTS는 carboxyl, FDTS는 fluorine으로 구성된다.
- [0054] SAM을 도포한 소자에서 우수한 누설전류 억제 특성을 SAM 도포하지 않은 샘플 대비 확보 할 수 있었으며, 순방향 특성에서도 FDTS의 경우에는 더욱 우수한 특성을 나타내는 것을 확인할 수 있었다. 이는 OTS 대비 전자 친화도가 높은 FDTS의 특성에 의한 결과이다.
- [0055] 도 6 내지 도 11은 원자층 증착법을 이용한 HfO_2 두께 변화에 따른 쇼트키 배리어 다이오드의 J-V 특성을 나타낸 것이다.
- [0056] 도 6 내지 도 8을 참조하면, HfO_2 을 증착을 통해 Reverse 영역에서의 누설 전류가 감소함을 확인할 수 있다. 항복 전압은 HfO_2 을 증착 전과 비교 시, ALD(atomic layer deposition, 원자층 증착) 2 cycle(2Å)에서 54V 증가하였으나, 4cycle(4Å)에서 6V, 6cycle(6Å)에서는 55V 감소하였다. HfO_2 의 cycle 수가 증가함에 따라 Forward 영역의 전류값이 우측 방향으로 크게 이동하고 전류 감소가 급격히 나타나는 것을 확인할 수 있다. 즉, 6Å에서는 온전류 감소가 큰 폭으로 나타나기 때문에 절연층으로서 HfO_2 특성을 나타내는 것으로 확인되었다.
- [0057] 2 cycle(2Å) 기반 HfO_2 증착에서 누설전류가 큰 폭으로 감소하는 반면, On resistance 값의 변화는 크지 않은 특성을 나타냈기에 소자 특성이 향상된 것으로 확인되었으며, 이는 $\alpha\text{-Ga}_2\text{O}_3$ 표면의 결합분포를 억제하고 이를 통해 표면 캐리어 농도 감소에 따른 특성 향상의 결과이다.
- [0058] 도 9 내지 도 11을 참조하면, HfO_2 의 사이클 수가 증가함에 따라 배리어 증가를 알 수 있다. Ideality factor 및 on resistance는 2cycle(2Å)에서는 변화가 없었으나 4cycle(4Å)에서 조금 증가 후 6cycle(6Å)에서 크게 증가하는 것을 확인할 수 있었다. 이는 HfO_2 가 연속된 박막 특성을 가지며, 절연체로서의 특징을 나타내기 때문

에 본 발명에서 6cycle(6 Å) 이상의 증착 조건은 바람직하지 않다.

[0059] 그리고, AFM(Atomic force microscope) 측정 결과 2cycle(2Å)에서는 $R_q=0.430\text{nm}$, 4cycle(4Å)에서는 $R_q=0.442\text{nm}$, 6cycle(6Å)에서는 $R_q=0.240\text{nm}$ 로 6cycle(6Å)에서 2cycle(2Å), 4cycle(4Å)보다 약 0.2nm 작아진 것을 확인할 수 있었다.

[0060] 이는 HfO_2 이 증착 과정에서 섬상(island) 구조로 성장(growth)이 일어나다가 6 cycle (6Å)에서 박막 구조로 형성되면서 거칠기 계수가 감소한 것으로 보인다.

[0061] 다음은 Kelvin probe force microscope (KPFM) 결과를 통한 실제 HfO_2 cycle이 증가하면서 $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$ 와 HfO_2 표면과의 포텐셜 차이를 나타낸 것이다.

표 1

	2 cycle(2Å)	4 cycle(4Å)	6 cycle(6Å)
$\text{HfO}_2(\text{CPD})$	1197mV	1012mV	1010mV
$\text{Ga}_2\text{O}_3(\text{CPD})$	1285mV	1125mV	1140mV
$\text{Ga}_2\text{O}_3\text{-HfO}_2(\Delta\text{CPD})$	88mV	114mV	130mV

[0063] Kelvin probe force microscope (KPFM) 결과를 통해 실제 HfO_2 cycle이 증가하면서 $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$ 와 HfO_2 표면과의 포텐셜 차이가 증가하는 것으로 확인되어 두께 측정이 어려운 적은 수의 cycle에서의 표면 박막 성장 변화 과정을 간접적으로 확인하였다.

[0064] 다음, 도 12는 HfO_2 증착 cycle 수에 따른 capacitance-voltage (C-V) 측정 결과이다.

[0065] C-V 측정 결과 HfO_2 2 cycle(2Å)을 증착한 소자에서 정전용량 값이 낮아진 것을 확인할 수 있었다. 이는 아주 작은 두께의 HfO_2 가 Ni 전극과 $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$ 계면 사이 제어에 효과적으로 영향을 미치는 것을 알 수 있다.

[0066] HfO_2 증착 cycle수가 2(2Å)와 4(4Å)에서는 큰 차이점이 나타나지 않았으나 6cycle(6Å)에서는 정전용량의 급격한 감소와 Hysteresis 특성이 2, 4 cycle 증착 소자에 비해 크게 나타나는 것으로 확인되었다.

[0067] 이는 6 cycle(6Å) 증착 시 HfO_2 박막 형성에 따른 전류 전달 제한 특성을 가져오고 이에 대한 결과는 앞서 살펴본 n 및 Ron 값 열화 특성에 영향을 주는 것으로 추정된다.

[0068] 도 13 내지 도 15는 Self-assembled monolayer(SAM) 처리 전 후 표면 contact angle 변화를 나타낸 것이다.

[0069] 18시간 증발 증착 후 접촉각이 각각 61.67° 에서 $\text{OTS}(103.47^\circ)$ 및 $\text{FDTS}(111.03^\circ)$ 로 나타남으로써 SAM이 증착되었음을 확인할 수 있다.

[0070] 도 16 및 도 17은 Self-assembled monolayer (SAM) 유무에 따른 쇼트키 배리어 다이오드의 J-V 특성을 나타낸 것이다.

[0071] SAM 증착 소자에서 순방향 바이어스 인가 시 FDTS가 삽입된 소자는 SAM이 삽입되지 않은 소자 대비 온전압은 0.05V 가량 우측으로 shift하였으나, 0.75V에서 보다 높은 전류를 나타내는 지점을 지나 1~2V 사이에 우수한 전류 특성을 나타낸다. 이는 SAM 삽입에 의해 베타산화갈륨 표면의 결함을 fluorin(플루오린)이 산소공공에 대한 패시베이션(passivation)을 통해 감소시킨 결과로서 사료된다.

[0072] OTS가 증착된 소자에서는 0.1V 이상 우측으로 shift하였고 전류 특성은 레퍼런스 대비 상당히 감소함을 알 수 있었다. 이는 carboxyl 그룹의 경우 결함 site를 passivation 하지 않는 것으로 사료되며, 보다 높은 저항체로서 역할을 하는 것으로 생각된다.

[0073] 역방향 바이어스 인가에서는 SAM 삽입 소자에서 현저한 누설전류 감소를 나타내었다. 모든 소자는 후열처리(HfO_2 삽입 소자의 경우 열처리온도에 따른 특성 평가)를 실시하지 않았으며, 후열처리를 하지 않음에도 FDTS의 경우 -240V, OTS의 경우 -400V 이상에서 항복 특성을 나타내었다.

[0074] 이상과 같은 본 발명은 예시된 도면을 참조하여 설명되었지만, 기재된 실시 예에 한정되는 것이 아니고, 본 발명의 사상 및 범위를 벗어나지 않고 다양하게 수정 및 변형될 수 있음은 이 기술의 분야에서 통상의 지식을 가

진 자에게 자명하다. 따라서 그러한 수정 예 또는 변형 예들은 본 발명의 특허청구범위에 속한다 하여야 할 것이며, 본 발명의 권리범위는 첨부된 특허청구범위에 기초하여 해석되어야 할 것이다.

부호의 설명

11 : 베타산화갈륨 기판

12 : 드리프트층

13 : Ti/Au 전극층

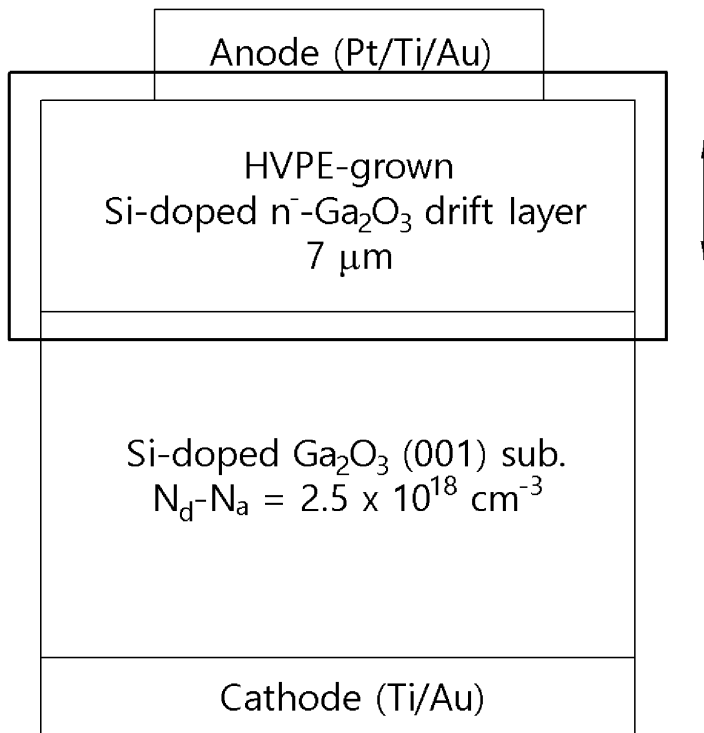
14 : 쇼트키 금속층

20 : 산화하프늄(HfO₂)층

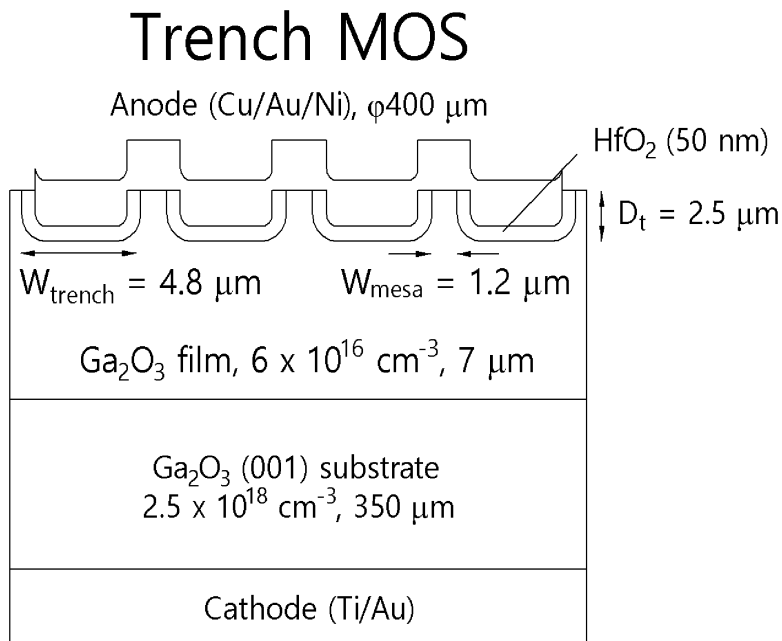
30 : 자기조립단분자막

도면

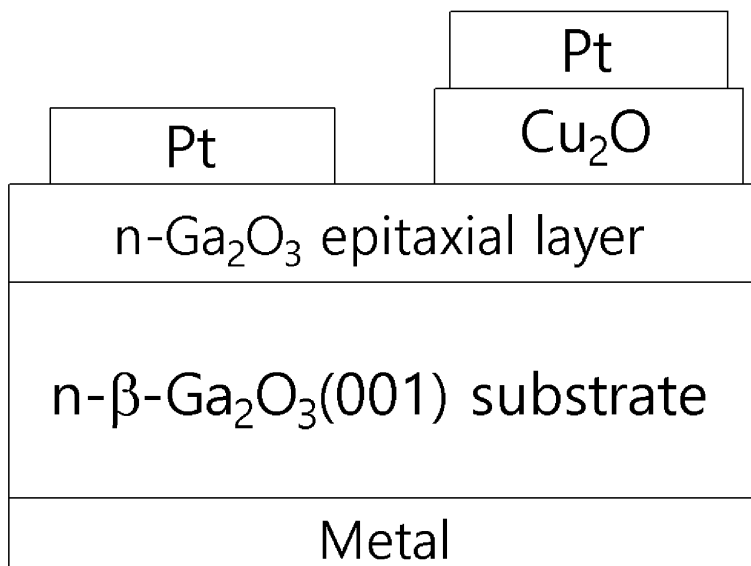
도면1



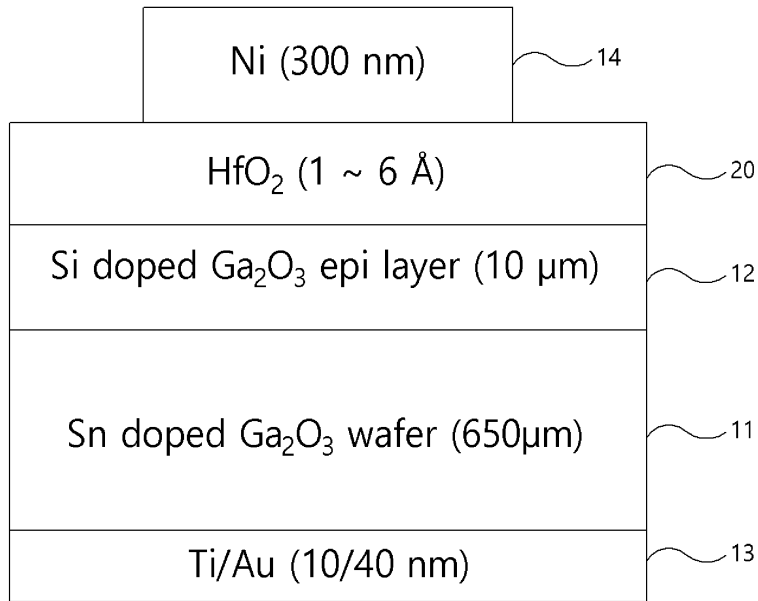
도면2



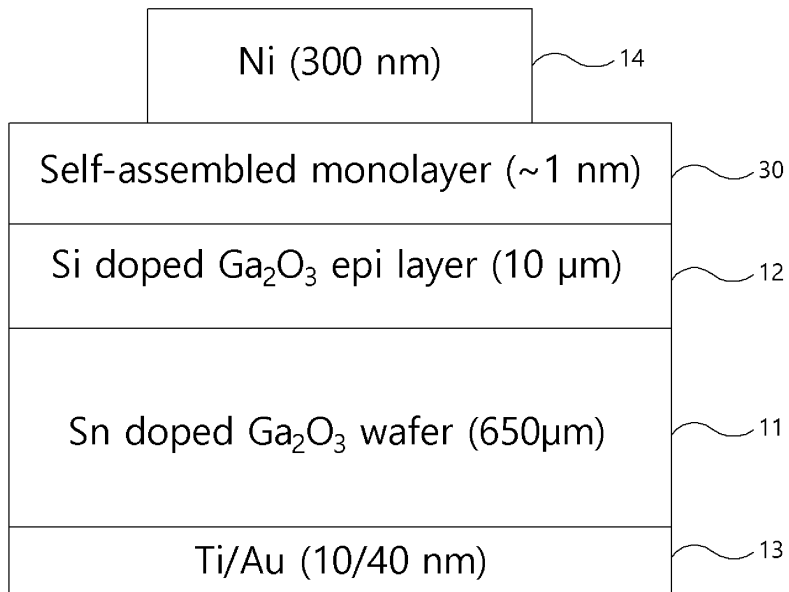
도면3



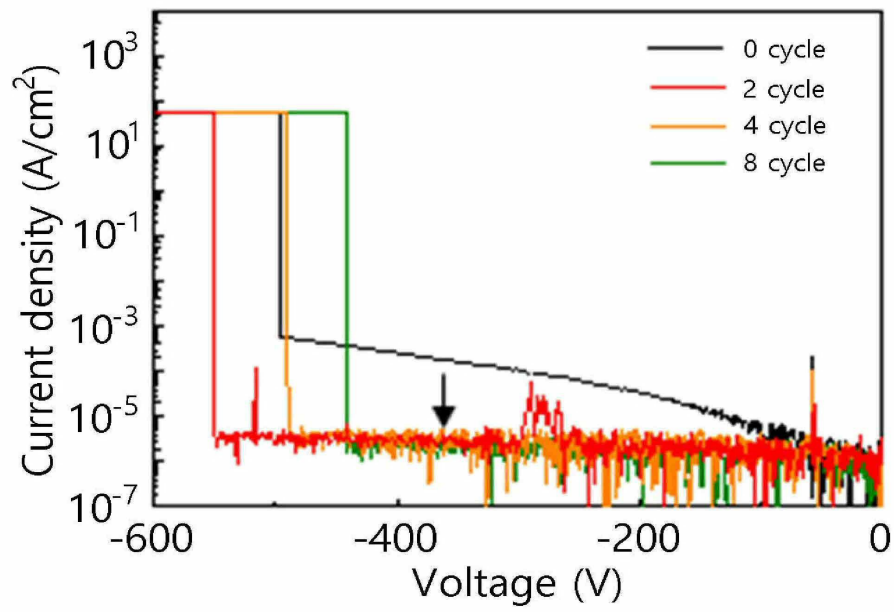
도면4



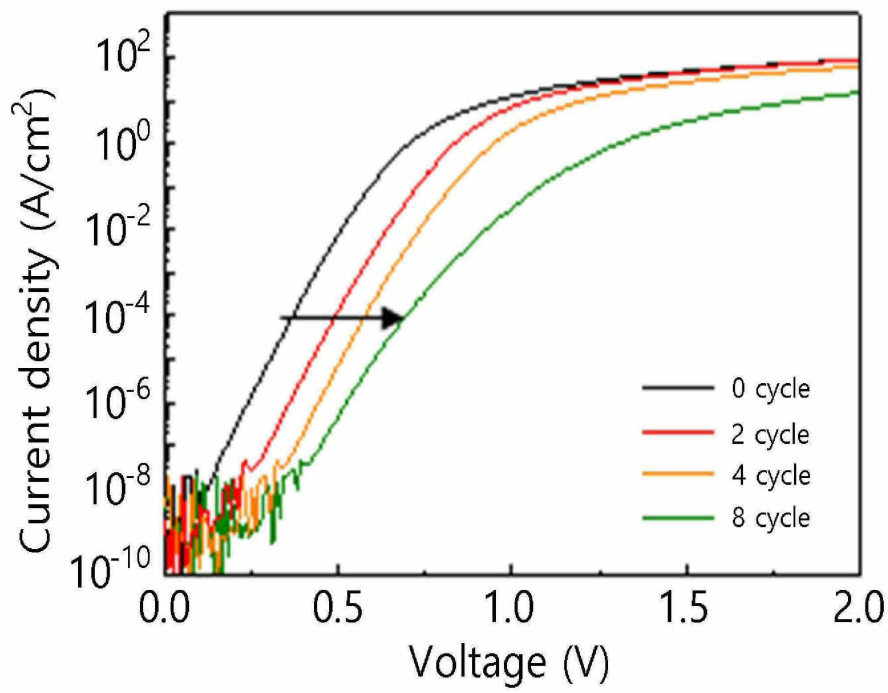
도면5



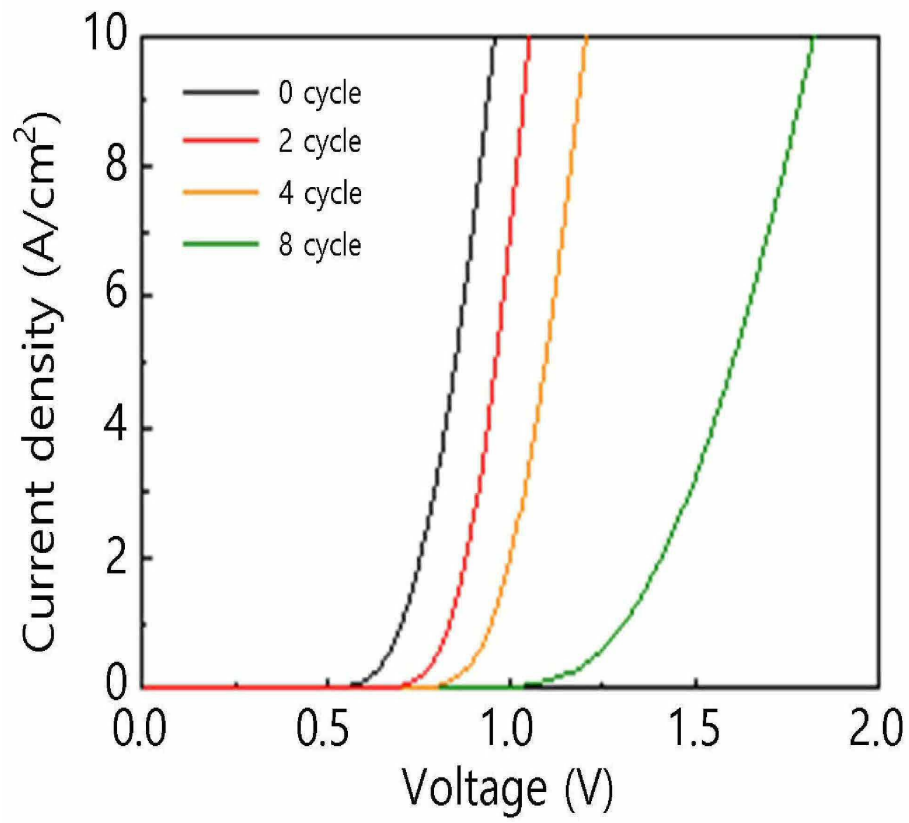
도면6



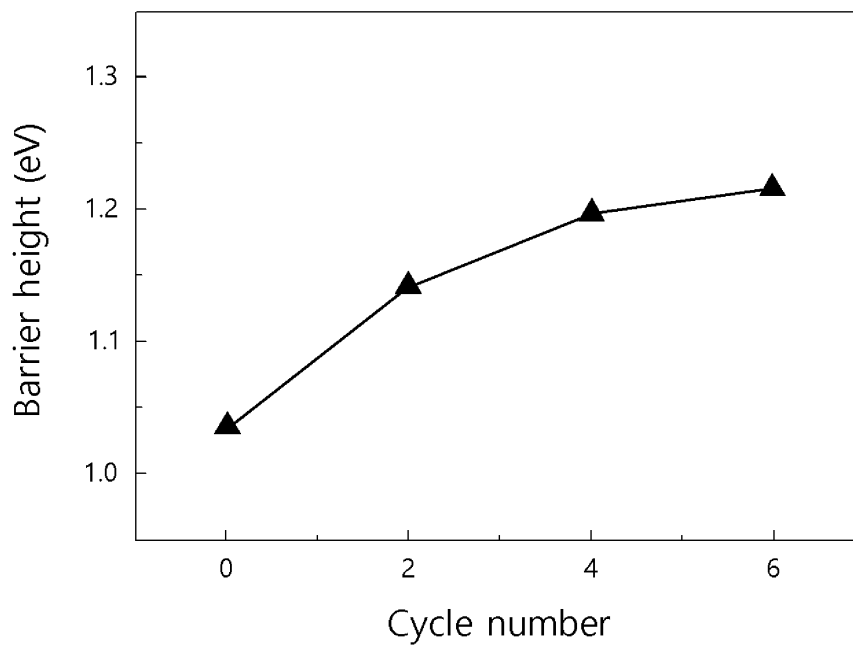
도면7



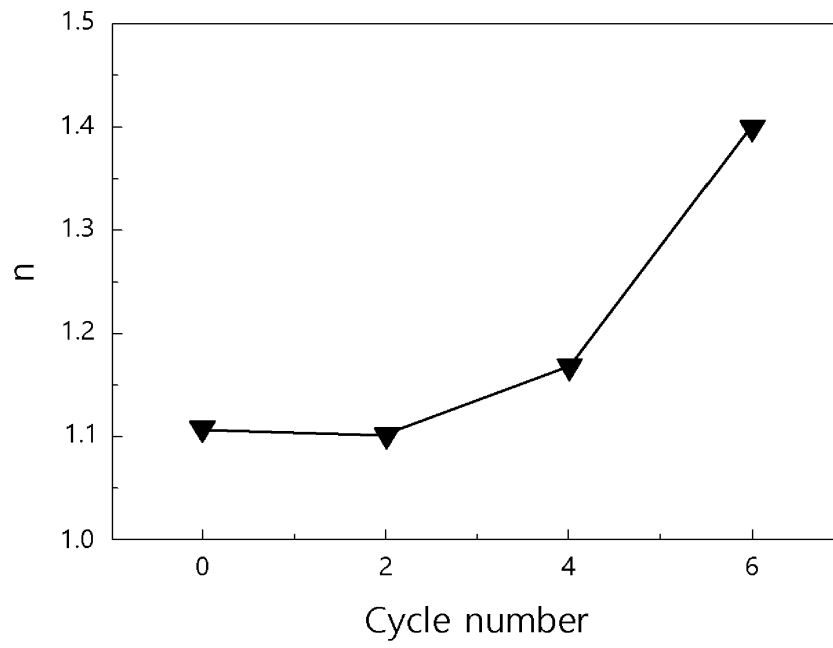
도면8



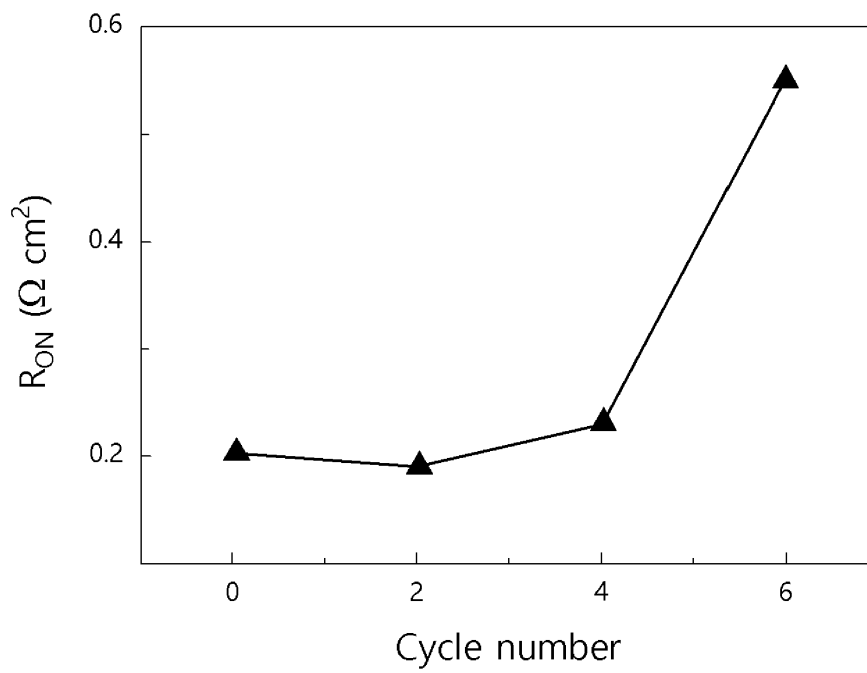
도면9



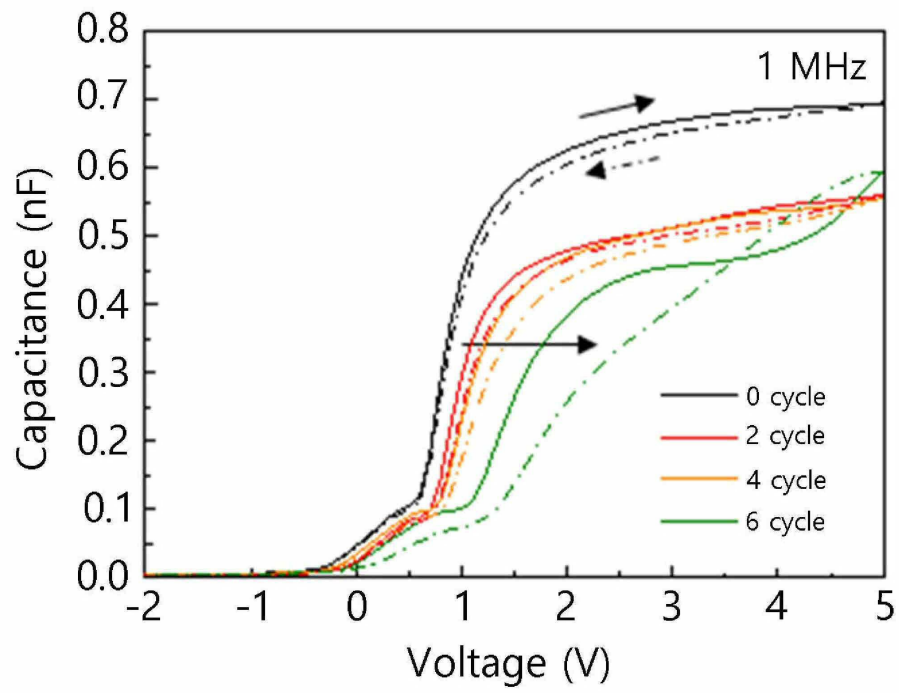
도면10



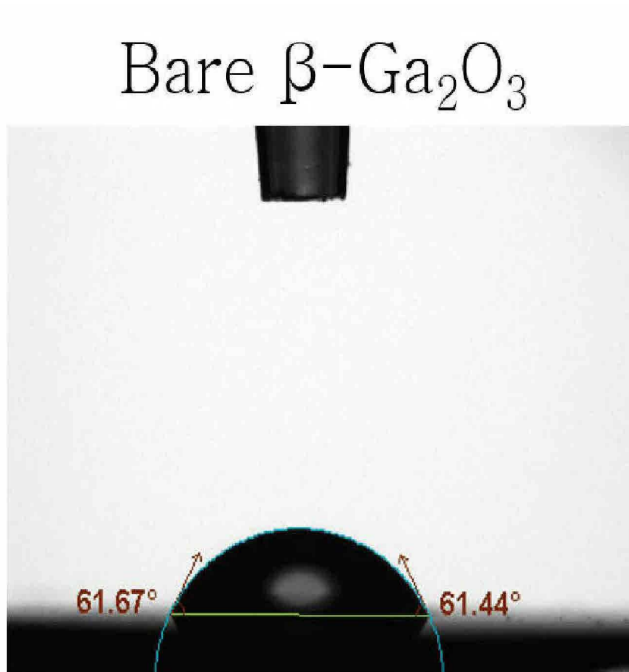
도면11



도면12

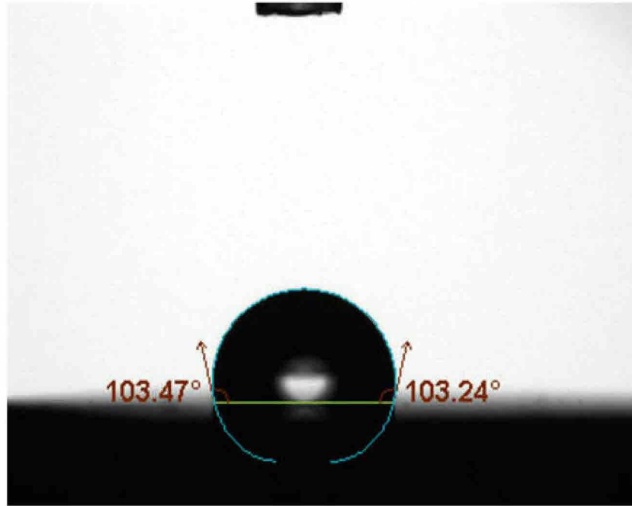


도면13

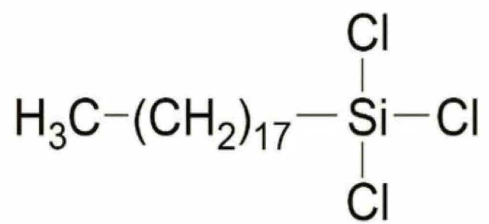
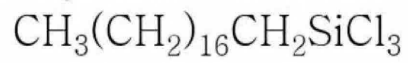


도면14

OTS on β -Ga₂O₃

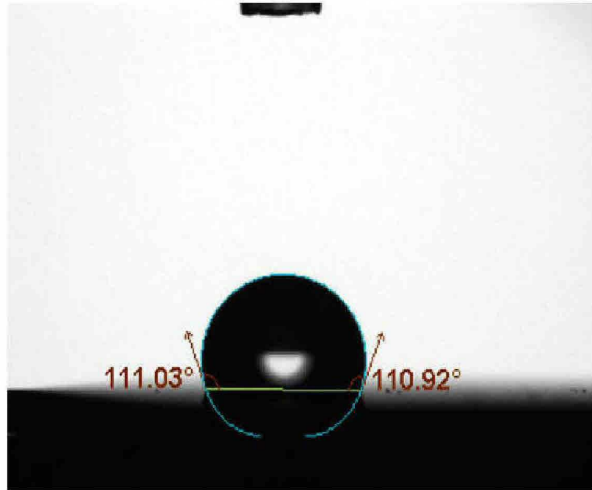


Octadecyltrichlorosilane (OTS)

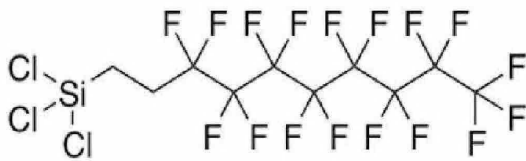


도면15

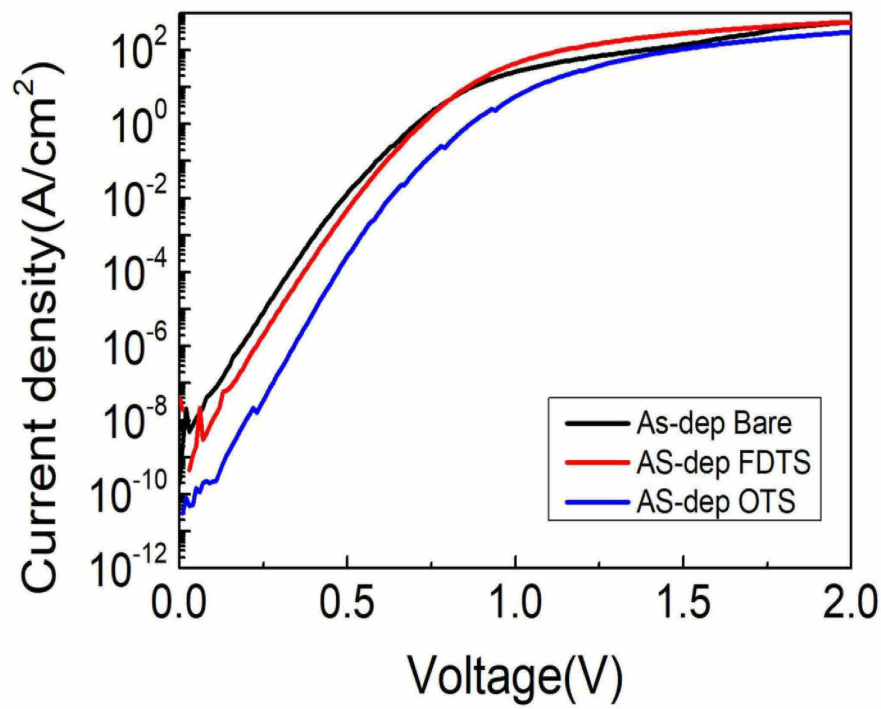
FDTS on β -Ga₂O₃



Perfluorodecyltrichlorosilane (FDTS)



도면16



도면17

