



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2020-0021624
(43) 공개일자 2020년03월02일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
H01L 45/00 (2006.01) H01L 31/032 (2006.01)
(52) CPC특허분류
H01L 45/145 (2013.01)
H01L 31/032 (2013.01)
(21) 출원번호 10-2018-0097165
(22) 출원일자 2018년08월21일
심사청구일자 2018년08월21일

(71) 출원인
인천대학교 산학협력단
인천광역시 연수구 아카데미로 119 (송도동)
(72) 발명자
김준동
인천광역시 연수구 컨벤시아대로274번길 15, 230
4동 1001호(송도동, 송도 더샵 마스터뷰 23-1BL)
쿠마르 모히트
인천광역시 연수구 학나래로5번길 46, 202호(선학
동)
(74) 대리인
특허법인가산

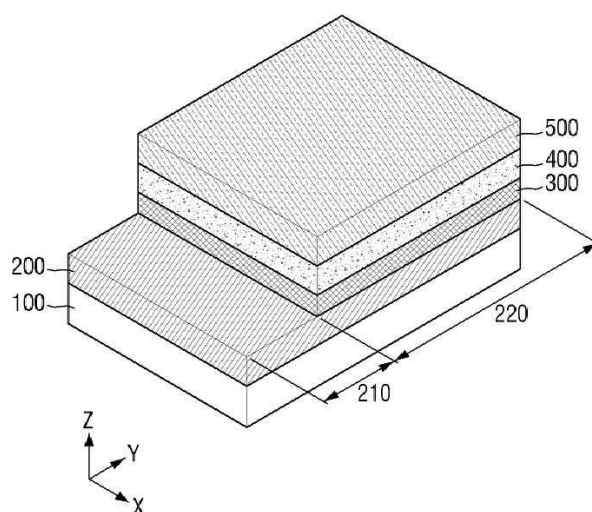
전체 청구항 수 : 총 16 항

(54) 발명의 명칭 저항 스위치 소자 및 그 제조 방법

(57) 요약

저항 스위치 소자 및 그 제조 방법을 제공한다. 상기 저항 스위치 소자는 투명 기판, 상기 투명 기판 상에 형성되는 투명 전도체막, 상기 투명 전도체막 상에 형성되는 아연 산화막, 상기 아연 산화막 상에 형성되는 페로브스카이트막, 상기 페로브스카이트막 상에 형성되는 니켈 산화막을 포함한다.

대 표 도 - 도1



(52) CPC특허분류

H01L 45/1608 (2013.01)

H03K 2017/9755 (2013.01)

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호 201801620001

부처명 미래창조과학부

연구관리전문기관 한국연구재단

연구사업명 일반연구자사업

연구과제명 투명 태양광 발전 플랫폼 구축

기 여 율 1/2

주관기관 인천대학교

연구기간 2018.06.01 ~ 2019.05.31

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호 201801580001

부처명 미래창조과학부

연구관리전문기관 한국연구재단

연구사업명 일반연구자사업

연구과제명 신경 회로망 적용을위한 광전자 커플 링 저전력 투명한 저항성 스위칭 디바이스

기 여 율 1/2

주관기관 인천대학교

연구기간 2018.06.01 ~ 2019.02.28

명세서

청구범위

청구항 1

투명 기관;

상기 투명 기관 상에 형성되는 투명 전도체막;

상기 투명 전도체막 상에 형성되는 투명한 아연 산화막;

상기 아연 산화막 상에 형성되는 투명한 페로브스카이트막;

상기 페로브스카이트막 상에 형성되는 투명한 니켈 산화막을 포함하는 저항 스위치 소자.

청구항 2

제1 항에 있어서,

상기 페로브스카이트막은 $(C_4H_9NH_3)_2PbBr_4$ 를 포함하는 저항 스위치 소자.

청구항 3

제1 항에 있어서,

상기 아연 산화막, 상기 페로브스카이트막 및 상기 니켈 산화막은 투명한 저항 스위치 소자.

청구항 4

제1 항에 있어서,

상기 아연 산화막과 상기 니켈 산화막을 통해서 전압을 인가하는 전원을 더 포함하는 저항 스위치 소자.

청구항 5

제4 항에 있어서,

상기 전원에 대한 저항은 다중 레벨(multi level)인 저항 스위치 소자.

청구항 6

제5 항에 있어서,

상기 전원은 바이어스 전원과 펄스 전원을 포함하고,

상기 저항은 상기 펄스 전원의 인가 후에 변하는 저항 스위치 소자.

청구항 7

제6 항에 있어서,

상기 저항은 상기 펄스 전원의 크기에 따라 변하는 저항 스위치 소자.

청구항 8

제7 항에 있어서,

상기 저항은 상기 펄스 전원의 크기가 클수록 작아지는 저항 스위치 소자.

청구항 9

제5 항에 있어서,

상기 전원은 펄스 전원이고,
 상기 저항 스위치 소자는 상기 저항이 변하는 과도 동작과,
 상기 과도 동작 후에 고정된 저항을 가지는 포화 동작을 수행하는 저항 스위치 소자.

청구항 10

제9 항에 있어서,
 상기 과도 동작에서는 상기 펄스 전원의 사이클이 진행됨에 따라서 상기 펄스 전원의 피크에 대응하는 전류가 포화 전류에 가까워지고,
 상기 포화 동작에서는 상기 펄스 전원의 피크에 대응하는 전류가 포화 전류로 유지되는 저항 스위치 소자.

청구항 11

제1 항에 있어서,
 상기 페로브스카이트막은 복수의 나노구조체를 포함하는 저항 스위치 소자.

청구항 12

제1 항에 있어서,
 상기 투명 전도체막은 FTO(fluorine-doped tin oxide)를 포함하는 저항 스위치 소자.

청구항 13

FTO막이 코팅된 유리 기판을 제공하고,
 상기 FTO막 상에 ZnO막을 형성하고,
 상기 ZnO막 상에 페로브스카이트막을 형성하고,
 상기 페로브스카이트막 상에 NiO막을 형성하는 것을 포함하되,
 상기 페로브스카이트막은 $(C_4H_9NH_3)_2PbBr_4$ 를 포함하고,
 상기 페로브스카이트막을 형성하는 것은,
 DMSO(dimethyl sulfoxide) 내에 BuABr 및 $PbBr_2$ 를 용해시켜 용해액을 형성하고,
 상기 용해액을 교반하고,
 상기 용해액을 실린지 필터(syringe filter)로 필터링하여 페로브스카이트 용액을 형성하고,
 상기 페로브스카이트 용액을 스핀코팅하는 것을 포함하는 저항 스위치 소자 제조 방법.

청구항 14

제13 항에 있어서,
 상기 페로브스카이트막을 형성하는 것은,
 상기 스핀코팅 이후에 열처리를 하는 것을 더 포함하는 저항 스위치 소자 제조 방법.

청구항 15

제13 항에 있어서,
 상기 ZnO막을 형성하는 것은, 상기 ZnO막을 상온에서 RF 스퍼터링을 통해 형성하는 저항 스위치 소자 제조 방법.

청구항 16

제13 항에 있어서,

상기 NiO막을 형성하는 것은, 상기 NiO막을 상온에서 리액티브 스퍼터링을 통해 형성하는 저항 스위치 소자 제조 방법.

발명의 설명

기술 분야

[0001] 본 발명은 저항 스위치 소자 및 그 제조 방법에 관한 것이다.

배경 기술

[0002] 다른 유기물과 무기물과 비교할 때, 탁월한 물리적 특성으로 인해 페로브스카이트는 최근 큰 관심을 모으고 있으며 차세대 광전자 장치용으로 유망한 반도체 물질로 간주되고 있다. 일반적으로, 페로브스카이트는 전류 전압 (I-V) 특성에서 의도치 않은 히스테리시스를 보여주며, 이는 페로브스카이트 기반 RS(resistive switching) 메모리를 설계하는 이점으로 활용되었다.

[0003] 페로브스카이트에서의 RS 동작은 전기장에 의해 유도된 이온 재배열에 의해 설명되며, 산화물 기반 RS 메모리와 비교할 때 더욱 복잡해진다. 일반적으로 RS 소자는 처음에는 고정된 전압에서 하나의 저항 상태를 보여주지만, 전기 펄스를 인가하면 상기 저항 상태를 다른 상태로 변환시켜 2레벨 동작이 가능하다.

선행기술문헌

특허문헌

[0004] (특허문헌 0001) 공개특허공보 제10-2017-0138047호

발명의 내용

해결하려는 과제

[0005] 본 발명이 해결하고자 하는 과제는 전기적 시냅스 기능이 가능한 저항 스위치 소자를 제공하는 것이다.

[0006] 본 발명이 해결하고자 하는 다른 과제는 전기적 시냅스 기능이 가능한 저항 스위치 소자 제조 방법을 제공하는 것이다.

[0007] 본 발명이 해결하고자 하는 과제들은 이상에서 언급한 과제들로 제한되지 않으며, 언급되지 않은 또 다른 과제들은 아래의 기재로부터 당업자에게 명확하게 이해될 수 있을 것이다.

과제의 해결 수단

[0008] 상기 과제를 해결하기 위한 본 발명의 일 실시예에 따른 저항 스위치 소자는 투명 기관, 상기 투명 기관 상에 형성되는 투명 전도체막, 상기 투명 전도체막 상에 형성되는 아연 산화막, 상기 아연 산화막 상에 형성되는 페로브스카이트막, 상기 페로브스카이트막 상에 형성되는 니켈 산화막을 포함한다.

[0009] 상기 다른 과제를 해결하기 위한 본 발명의 일 실시예에 따른 저항 스위치 소자 제조 방법은 FTO막이 코팅된 유리 기관을 제공하고, 상기 FTO막 상에 ZnO막을 형성하고, 상기 ZnO막 상에 페로브스카이트막을 형성하고, 상기 페로브스카이트막 상에 NiO막을 형성하는 것을 포함한다.

[0010] 기타 실시예들의 구체적 사항들은 상세한 설명 및 도면들에 포함되어 있다.

발명의 효과

[0011] 본 발명의 몇몇 실시예에 따른 저항 스위치 소자는 완전 투명하고, 입력 신호에 따라서 출력을 조절할 수 있다. 또한, 입력 펄스 신호에 따라서 점진적으로 출력이 변화하므로 생물학적 시냅스의 연산 기능을 수행할 수 있다.

[0012] 본 발명에 따른 효과는 이상에서 예시된 내용에 의해 제한되지 않으며, 더욱 다양한 효과들이 본 명세서 내에 포함되어 있다.

도면의 간단한 설명

[0013] 도 1은 본 발명의 몇몇 실시예들에 따른 저항 스위치 소자를 설명하기 위한 사시도이다.
 도 2는 본 발명의 몇몇 실시예들에 따른 저항 스위치 소자의 전압 인가를 설명하기 위한 사시도이다.
 도 3 내지 도 5는 본 발명의 몇몇 실시예들에 따른 저항 스위치 소자 제조 방법을 설명하기 위한 중간단계 도면들이다.
 도 6은 본 발명의 실시예 1의 저항 스위치 소자의 사시도를 나타낸 SEM(Scanning Electron Microscope) 이미지이다.
 도 7은 본 발명의 실시예 1의 저항 스위치 소자의 평면도를 나타낸 SEM 이미지이다.
 도 8은 본 발명의 실시예 2의 페로브스카이트막의 XRD(X-ray Diffraction)를 나타낸 그래프이다.
 도 9는 본 발명의 실시예 1의 저항 스위치 소자의 투과도를 나타낸 그래프이다.
 도 10은 본 발명의 실시예 1의 저항 스위치 소자의 투과도를 설명하기 위한 이미지이다.
 도 11은 본 발명의 실시예 3의 저항 스위치 소자의 흡수도 및 광발광 스펙트럼(photoluminescence(PL) spectrum)을 나타낸 그래프이다.
 도 12는 본 발명의 실시예 1의 저항 스위치 소자의 2 사이클 전압 입력에 따른 전류 전압 특성을 설명하기 위한 그래프이다.
 도 13은 도 12의 그래프를 세미 로그 스케일로 도시한 그래프이다.
 도 14는 본 발명의 실시예 1의 저항 스위치 소자에 인가된 펄스 전압에 따른 4개의 전류 상태를 설명하기 위한 그래프이다.
 도 15는 도 14의 각각의 전류 상태의 안정성을 설명하기 위한 그래프이다.
 도 16은 본 발명의 실시예 1의 저항 스위치 소자의 과도동작을 설명하기 위한 1 사이클 입력에 대한 출력 그래프이다.
 도 17은 본 발명의 실시예 1의 저항 스위치 소자의 과도동작을 설명하기 위한 10 사이클 입력에 대한 출력 그래프이다.
 도 18은 본 발명의 실시예 1의 저항 스위치 소자에 인가된 펄스 전압에 따른 출력 전류를 나타낸 그래프이다.
 도 19는 본 발명의 실시예 1의 저항 스위치 소자가 저항과 같이 동작할 때의 밴드 다이어그램을 설명하기 위한 개념도이다.
 도 20은 본 발명의 실시예 1의 저항 스위치 소자가 다이오드와 같이 동작할 때의 밴드 다이어그램을 설명하기 위한 개념도이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0014] 본 발명의 이점 및 특징, 그리고 그것들을 달성하는 방법은 첨부되는 도면과 함께 상세하게 후술되어 있는 실시예들을 참조하면 명확해질 것이다. 그러나 본 발명은 이하에서 개시되는 실시예들에 한정되는 것이 아니라 서로 다른 다양한 형태로 구현될 것이며, 단지 본 실시예들은 본 발명의 개시가 완전하도록 하며, 본 발명이 속하는 기술분야에서 통상의 지식을 가진 자에게 발명의 범주를 완전하게 알려주기 위해 제공되는 것이며, 본 발명은 청구항의 범주에 의해 정의될 뿐이다. 명세서 전체에 걸쳐 동일 참조 부호는 동일 구성 요소를 지칭한다.

[0015] 비록 제1, 제2 등이 다양한 소자, 구성요소 및/또는 섹션들을 서술하기 위해서 사용되나, 이들 소자, 구성요소 및/또는 섹션들은 이들 용어에 의해 제한되지 않음은 물론이다. 이들 용어들은 단지 하나의 소자, 구성요소 또는 섹션들을 다른 소자, 구성요소 또는 섹션들과 구별하기 위하여 사용하는 것이다. 따라서, 이하에서 언급되는 제1 소자, 제1 구성요소 또는 제1 섹션은 본 발명의 기술적 사상 내에서 제2 소자, 제2 구성요소 또는 제2 섹션

일 수도 있음은 물론이다.

- [0016] 소자(elements) 또는 층이 다른 소자 또는 층의 "위(on)" 또는 "상(on)"으로 지칭되는 것은 다른 소자 또는 층의 바로 위뿐만 아니라 중간에 다른 층 또는 다른 소자를 개재한 경우를 모두 포함한다. 반면, 소자가 "직접 위(directly on)" 또는 "바로 위"로 지칭되는 것은 중간에 다른 소자 또는 층을 개재하지 않은 것을 나타낸다.
- [0017] 공간적으로 상대적인 용어인 "아래(below)", "아래(beneath)", "하부(lower)", "위(above)", "상부(upper)" 등은 도면에 도시되어 있는 바와 같이 하나의 소자 또는 구성 요소들과 다른 소자 또는 구성 요소들과의 상관관계를 용이하게 기술하기 위해 사용될 수 있다. 공간적으로 상대적인 용어는 도면에 도시되어 있는 방향에 더하여 사용시 또는 동작시 소자의 서로 다른 방향을 포함하는 용어로 이해되어야 한다. 예를 들면, 도면에 도시되어 있는 소자를 뒤집을 경우, 다른 소자의 "아래(below 또는 beneath)"로 기술된 소자는 다른 소자의 "위(above)"에 놓일 수 있다. 따라서, 예시적인 용어인 "아래"는 아래와 위의 방향을 모두 포함할 수 있다. 소자는 다른 방향으로도 배향될 수 있으며, 이 경우 공간적으로 상대적인 용어들은 배향에 따라 해석될 수 있다.
- [0018] 본 명세서에서 사용된 용어는 실시예들을 설명하기 위한 것이며 본 발명을 제한하고자 하는 것은 아니다. 본 명세서에서, 단수형은 문구에서 특별히 언급하지 않는 한 복수형도 포함한다. 명세서에서 사용되는 "포함한다(comprises)" 및/또는 "포함하는(comprising)"은 언급된 구성요소, 단계, 동작 및/또는 소자는 하나 이상의 다른 구성요소, 단계, 동작 및/또는 소자의 존재 또는 추가를 배제하지 않는다.
- [0019] 다른 정의가 없다면, 본 명세서에서 사용되는 모든 용어(기술 및 과학적 용어를 포함)는 본 발명이 속하는 기술 분야에서 통상의 지식을 가진 자에게 공통적으로 이해될 수 있는 의미로 사용될 수 있을 것이다. 또 일반적으로 사용되는 사전에 정의되어 있는 용어들은 명백하게 특별히 정의되어 있지 않는 한 이상적으로 또는 과도하게 해석되지 않는다.
- [0020] 이하, 도 1을 참조하여 본 발명의 몇몇 실시예에 따른 저항 스위치 소자를 설명한다.
- [0021] 도 1은 본 발명의 몇몇 실시예들에 따른 저항 스위치 소자를 설명하기 위한 사시도이다.
- [0022] 도 1을 참조하면, 본 발명의 몇몇 실시예들에 따른 저항 스위치 소자는 투명 기관(100), 투명 전도체막(200), 아연 산화막(300), 페로브스카이트막(400) 및 니켈 산화막(500)을 포함한다.
- [0023] 투명 기관(100)은 완전히 투명한 기관일 수 있다. 투명 기관(100)은 예를 들어, 유리 기관일 수 있다. 단, 본 실시예가 이에 제한되는 것은 아니다. 투명 기관(100)은 상부에 투명 전도체막(200), 아연 산화막(300), 페로브스카이트막(400) 및 니켈 산화막(500)을 형성하여 지지할 수 있다.
- [0024] 투명 전도체막(200)은 투명 기관(100) 상에 형성될 수 있다. 투명 전도체막(200)은 투명한 재료로 빛이 투과할 수 있다. 투명 전도체막(200)은 예를 들어, FTO(fluorine-doped tin oxide)를 포함할 수 있다. 단, 본 실시예가 이에 제한되는 것은 아니다.
- [0025] 투명 전도체막(200)은 제1 영역(210) 및 제2 영역(220)을 포함할 수 있다. 제1 영역(210)은 그 위에 아연 산화막(300), 페로브스카이트막(400) 및 니켈 산화막(500)이 형성되지 않아 외부로 노출될 수 있다. 제1 영역(210)은 전원(600)이 연결되는 부분일 수 있다.
- [0026] 제2 영역(220)은 그 위에 아연 산화막(300), 페로브스카이트막(400) 및 니켈 산화막(500)이 적층되는 부분일 수 있다.
- [0027] 아연 산화막(300)은 투명 전도체막(200)의 제2 영역(220) 상에 형성될 수 있다. 아연 산화막(300)은 ZnO를 포함할 수 있다. 아연 산화막(300)은 니켈 산화막(500)과 같이 본 발명의 몇몇 실시예들에 따른 저항 스위치 소자의 대기 안정성을 높여줄 수 있다.
- [0028] 페로브스카이트막(400)은 아연 산화막(300) 상에 형성될 수 있다. 페로브스카이트막(400)은 $(\text{C}_4\text{H}_9\text{NH}_3)_2\text{PbBr}_4$ 를 포함할 수 있다. 페로브스카이트막(400)은 내부에 복수의 나노 구조체를 포함할 수 있다. 이 때, 상기 나노 구조체의 평균 직경은 예를 들어, 300 내지 500nm일 수 있다. 단, 본 실시예가 이에 제한되는 것은 아니다.
- [0029] 니켈 산화막(500)은 페로브스카이트막(400) 상에 형성될 수 있다. 니켈 산화막(500)은 p형 NiO를 포함할 수 있다. 니켈 산화막(500)은 아연 산화막(300)과 같이 본 발명의 몇몇 실시예들에 따른 저항 스위치 소자의 대기 안정성을 높여줄 수 있다.
- [0030] 아연 산화막(300), 페로브스카이트막(400) 및 니켈 산화막(500)은 투명 기관(100) 및 투명 전도체막(200)과 같

이 투명할 수 있다. 따라서, 본 발명의 몇몇 실시예들에 따른 저항 스위치 소자는 전체적으로 투명할 수 있다.

[0031] 도 2는 본 발명의 몇몇 실시예들에 따른 저항 스위치 소자의 전압 인가를 설명하기 위한 사시도이다.

[0032] 도 2를 참조하면, 전원(600)은 투명 전도체막(200)과 니켈 산화막(500)에 전압을 인가할 수 있다. 전원(600)은 이를 통해서, 투명 전도체막(200)과 니켈 산화막(500) 사이의 아연 산화막(300) 및 페로브스카이트막(400)에 전압을 인가하여 출력 전류를 생성할 수 있다.

[0033] 전원(600)은 바이어스 전원과 펄스 전원을 포함할 수 있다. 바이어스 전원은 시간이 흘러도 따로 조절하지 않는 이상 고정된 전압을 인가하는 전원을 의미하고, 펄스 전원은 시간에 따라서 크기가 변하는 펄스 전압을 인가하는 전원을 의미한다.

[0034] 본 발명의 몇몇 실시예들에 따른 저항 스위치 소자는 입력 신호에 따라서 다중 레벨의 저항 상태를 가질 수 있다. 이하 이러한 특성에 대해서는 추후에 실험예에서 자세히 설명한다.

[0035] 도 2에서는 전원(600)이 도시되었지만, 이는 본 발명의 몇몇 실시예들에 따른 저항 스위치 소자의 전기적 연결 구조를 설명하기 위함일뿐, 전원(600)의 연결 방식이 도 2에 제한되는 것은 아니다.

[0036] 구체적으로, 본 발명의 몇몇 실시예들에 따른 저항 스위치 소자는 다른 상위 장치의 모듈로서 전원이 다른 모듈을 통해서 연결될 수도 있다.

[0037] 이하, 도 1 및 도 3 내지 도 5를 참조하여, 본 발명의 몇몇 실시예들에 따른 저항 스위치 소자의 제조 방법을 설명한다. 상술한 실시예와 중복되는 부분은 생략하거나 간략히 한다.

[0038] 도 3 내지 도 5는 본 발명의 몇몇 실시예들에 따른 저항 스위치 소자 제조 방법을 설명하기 위한 중간단계 도면들이다.

[0039] 먼저, 도 3을 참조하면, 투명 기판(100) 상에 투명 전도체막(200)을 형성할 수 있다.

[0040] 투명 기판(100)은 예를 들어, 유리 기판일 수 있다. 투명 전도체막(200)은 예를 들어, FTO를 포함할 수 있다. 투명 기판(100) 및 투명 전도체막(200)은 초음파로 세척될 수 있다.

[0041] 투명 전도체막(200)의 상면은 제1 영역(210)과 제2 영역(220)을 포함할 수 있다. 제1 영역(210)은 추후에 외부에 노출되는 부분일 수 있고, 제2 영역(220)은 추후에 다른 막들이 적층되는 부분일 수 있다.

[0042] 이어서, 도 4를 참조하면, 투명 전도체막(200)의 상면에 아연 산화막(300)을 형성한다.

[0043] 아연 산화막(300)은 투명 전도체막(200)의 제2 영역(220)에 형성될 수 있다. 아연 산화막(300)은 ZnO를 포함할 수 있다. 아연 산화막(300)은 순수한 ZnO 타겟을 이용하여 성장될 수 있다. 아연 산화막(300)은 상온에서 RF 스퍼터링을 이용하여 형성될 수 있다.

[0044] 이어서, 도 5를 참조하면, 아연 산화막(300) 상에 페로브스카이트막(400)을 형성한다. 페로브스카이트막(400)은 $(\text{C}_4\text{H}_9\text{NH}_3)_2\text{PbBr}_4$ 를 포함할 수 있다.

[0045] 먼저, DMSO(dimethyl sulfoxide) 내에 BuABr과 PbBr_2 를 2:1의 몰 비율로 용해시켜 0.75 M $(\text{C}_4\text{H}_9\text{NH}_3)_2\text{PbBr}_4$ 페로브스카이트 용해액을 형성한다. 이어서, 상기 용해액을 교반하고, 실린지 필터에 필터링하여 페로브스카이트 용액을 생성한다.

[0046] 이어서, 상기 페로브스카이트 용액을 이용하여 페로브스카이트막(400)을 아연 산화막(300) 상에 스�핀코팅하고, 열처리할 수 있다. 이를 통해서, 페로브스카이트막(400)이 형성될 수 있다.

[0047] 이어서, 도 1을 참조하면, 페로브스카이트막(400)의 상에 p형 니켈 산화막(500)을 형성한다.

[0048] 니켈 산화막(500)은 NiO를 포함할 수 있다. 니켈 산화막(500)은 순수한 Ni 타겟과 산소 가스를 이용하여 성장될 수 있다. 니켈 산화막(500)은 상온에서 리액티브 스퍼터링을 이용하여 형성될 수 있다.

[0050] 실시예 1

[0051] FTO로 코팅된 유리 기판을 아세톤, 메탄올 및 탈이온수와 함께 초음파 세척하여 준비하였다. 99.99% 순수한 ZnO 타겟을 이용하여 챔버 내에 아르곤 가스를 50sccm의 유량으로 주입하고, 압력을 5mTorr로 유지하여 스퍼터링으

로 ZnO막을 FTO 상에 성장시켰다. 이 때, RF 파워는 300W이고, 유리 기판은 ZnO막의 균일한 두께를 위해서 5rpm의 속도로 회전하였다. 성장 온도는 상온이다.

[0052] ZnO막 상에 $(C_4H_9NH_3)_2PbBr_4$ 즉, 페로브스카이트막을 형성하기 위해서 상술한 바와 같이 DMSO 내에 BuABr과 $PbBr_2$ 를 2:1의 몰 비율로 용해시켜 0.75 M $(C_4H_9NH_3)_2PbBr_4$ 페로브스카이트 용해액을 형성한다. 상기 용해액은 밤새 지속적으로 교반되고, PETE(polytetrafluoroethylene) 재질의 실린더 필터로 필터링된다. 이 때, 실린더 필터는 0.2 μm 크기의 필터링 홀을 가진다. 이를 통해서 상기 용해액은 페로브스카이트 용액이 되고, 이를 스핀 코팅하여 ZnO막 상에 페로브스카이트막을 형성하였다. 이어서 10분간 100℃의 온도에서 열처리하였다.

[0053] 페로브스카이트막 상에 p형 NiO막을 형성하기 위해서 99.999% 순수한 Ni 타겟을 이용하였다. 상기 Ni 타겟은 유량 30sccm의 아르곤 가스와 유량 4sccm의 산소 가스와 동시에 리액티브 스퍼터링되어 NiO막을 형성하였다. 이 때, dc 파워는 50W이고, 15분간 3mTorr의 압력이 유지되었다. NiO막의 성장도 상온에서 진행되었다.

[0054] 상기 NiO막과 ZnO막의 존재는 실시예 1의 장치의 대기 안정성을 제공할 수 있다.

[0055] 도 6은 본 발명의 실시예 1의 저항 스위치 소자의 사시도를 나타낸 SEM(Scanning Electron Microscope) 이미지이고, 도 7은 본 발명의 실시예 1의 저항 스위치 소자의 평면도를 나타낸 SEM 이미지이다.

[0056] 도 6을 참조하면, 실시예 1의 페로브스카이트막의 두께와 재질이 균일함을 확인할 수 있다. 이와 달리, 도 7을 참조하면, 실시예 1의 페로브스카이트막 즉, $(C_4H_9NH_3)_2PbBr_4$ 막은 균일하게 배치된 나노 구조체를 포함함을 알 수 있다. 상기 나노 구조체의 평균 직경은 360nm이다.

[0058] 실시예 2

[0059] 페로브스카이트막의 특성을 확인하기 위해서, SiO_2 기판 상에 $(C_4H_9NH_3)_2PbBr_4$ 를 성장시켰다. 성장 방법은 실시예 1과 동일하게 하였다.

[0061] 실시예 3

[0062] 페로브스카이트막의 특성을 확인하기 위해서, 유리 기판 상에 바로 $(C_4H_9NH_3)_2PbBr_4$ 를 성장시켰다. 성장 방법은 실시예 1과 동일하게 하였다.

[0064] 물질 내에서 전기적 수송을 위한 캐리어 밀도는 그 물질의 결정성에 크게 좌우된다. 따라서, 실시예 2의 페로브스카이트막에 XRD를 수행하였다.

[0065] 도 8은 본 발명의 실시예 2의 페로브스카이트막의 XRD를 나타낸 그래프이다.

[0066] 도 8을 참조하면, XRD 패턴은 $2\theta = 6.4^\circ$ 에서 주된 피크를 보여주고, 이는 2차원 막인 $(C_4H_9NH_3)_2PbBr_4$ 결정의 (001) 평면의 결정면간 거리(d-spacing)와 잘 매칭된다. 나아가, 면의 간격(d)은 약 1.42nm이고, 이는 기존에 알려진 것과 일치한다.

[0067] 도 9는 본 발명의 실시예 1의 저항 스위치 소자의 투과도를 나타낸 그래프이다.

[0068] 도 9를 참조하면, 본 발명의 실시예 1의 저항 스위치 소자의 평균 투과도는 전체 가시광 영역에서 70%보다 크다. 실제로, 인공 눈이나 눈 보호장치와 같은 시스루 장치(see-through applications)에 요구되듯이, 실시예 1의 저항 스위치 소자는 550nm의 파장에서 ~75%의 훌륭한 투과도를 보여준다. 한편, 400nm 파장 근처에서 관측된 투과도의 급격한 감소는 $(C_4H_9NH_3)_2PbBr_4$ 의 기본 흡수 엣지(fundamental absorption edge)에 기인한다.

[0069] 도 10은 본 발명의 실시예 1의 저항 스위치 소자의 투과도를 설명하기 위한 이미지이다.

[0070] 도 10을 참조하면, 본 발명의 실시예 1의 저항 스위치 소자는 매우 투명하고, 외부의 색상을 보전할 수 있어 시스루 장치의 2가지 기본 조건을 충족할 수 있다.

[0071] 도 11은 본 발명의 실시예 3의 저항 스위치 소자의 흡수도 및 광발광 스펙트럼(photoluminescence(PL))

spectrum)을 나타낸 그래프이다.

- [0072] 도 11을 참조하면, 본 발명의 실시예 3의 $(C_4H_9NH_3)_2PbBr_4$ 은 자외선 영역에서 좋은 흡수도를 보여준다. 이는 페로브스카이트막이 자외선 기반 광전자 공학의 설계에 유용하게 사용될 수 있다는 것을 알려준다.
- [0073] 나아가, 광발광 스펙트럼에서 405nm 근처에서 존재하는 날카로운 피크는 $(C_4H_9NH_3)_2PbBr_4$ 의 밴드 갭이 대략 3.0eV에 도달한다는 것을 의미한다.

[0075] 실험예 1

- [0076] 본 발명의 실시예 1의 저항 스위치 소자의 전기적 특성을 확인하기 위해서 실시예 1의 저항 스위치 소자에 DC 바이어스를 순차적으로 0V, 2V, 0V, -2V 및 0V로 2사이클로 스위프(sweep)하여 출력 전류를 측정하였다. 이 때, DC 바이어스의 변화율은 $0.2Vs^{-1}$ 이다.
- [0077] 도 12는 본 발명의 실시예 1의 저항 스위치 소자의 2 사이클 전압 입력에 따른 전류 전압 특성을 설명하기 위한 그래프이고, 도 13은 도 12의 그래프를 세미 로그 스케일로 도시한 그래프이다.
- [0078] 도 12를 참조하면, 본 실시예 1의 저항 스위치 소자는 바이폴라 스위칭 동작(bipolar switching behaviour)을 보여준다. 이는 포지티브 바이어스에서 세팅되고, 네거티브 바이어스에서 리세팅된다.
- [0079] 도 12의 그래프는 각각의 구간별로 나누어 분석된다. 양의 전압에서 전류는 낮고, 전류가 갑자기 증가하여 대응되는 전압이 "세트(set)" 전압으로 식별되는 +1.2V 근처까지는 비선형적으로 증가한다(1).
- [0080] 1.2V를 넘으면, 전류값은 다른 상태로 도달하고, 불안한 전류값을 가진다. 반면에, 전압이 감소하는 사이클에서는 전류는 네거티브 바이어스까지도 선형적으로 감소한다. 이는 실시예 1의 장치와 콘택의 오믹 특성을 나타낸다(2).
- [0081] 고정된 0.5V의 바이어스에 대응되는 저항은 증가하는 전압과 감소하는 전압 각각에서 고저항상태(high resistance state, HRS) 및 저저항상태(low resistance state, LRS)로 구별된다. 이어서, 반대 리셋(reset)과정이 전압이 -2V에서 0V로 변할 때 관측된다(3). 이는 LRS로부터 HRS로의 2단계 스위칭의 증거이다.
- [0082] 도 13을 참조하면, 더 명확한 폐곡선의 동작을 확인할 수 있다.

[0084] 실험예 2

- [0085] 실시예 1의 저항 스위치 소자의 다중 저항 상태를 더 명확하게 살펴보기 위해서 0.5V의 고정된 바이어스 전압에서 서로 다른 짧은 펄스 전압(100 μs)을 인가하였다.
- [0086] 도 14는 본 발명의 실시예 1의 저항 스위치 소자에 인가된 펄스 전압에 따른 4개의 전류 상태를 설명하기 위한 그래프이다.
- [0087] 도 14를 참조하면, 본 발명의 실시예 1의 저항 스위치 소자의 출력 전류는 100 μs 간격으로 다양한 펄스 전압을 인가함에 따라서 다른 값으로 바뀌었다가 돌아온다. 그러나, 각각의 경우 모두가 초기 상태로 돌아오는 것은 아니다. 각각의 경우는 리셋 전류에 있어서 조금씩 차이를 보인다.
- [0088] 이는 본 발명의 실시예 1의 저항 스위치 소자를 가로지르는 결합된 이온 전자 이동에 의한 것이다. 이 중에 1V의 펄스 전압을 인가한 경우에는 HRS로의 전류가 돌아오는 구간(도 14의 회색 구간)으로 00 상태로 간주할 수 있다.
- [0089] 나아가, 다른 3개의 전류 전류 컨덕션 상태는 0.5V의 고정 바이어스에 대해서 각각 2, 2.5 및 3V의 짧은 펄스 전압을 인가한 것이다. 이러한 3개의 레벨은 각각 01, 10 및 11 상태로 나타낼 수 있다.
- [0090] 도 15는 도 14의 각각의 전류 상태의 안정성을 설명하기 위한 그래프이다.
- [0091] 도 15를 참조하면, 바뀐 상태가 얼마나 안정한지를 오랜 시간 동안 측정할 수 있다. 도 15의 결과는 출력 전류는 임의의 전압을 선택함에 따라서 더 높은 상태 중 어느 하나로 변할 수 있음을 보여준다.

[0093] **실험예 3**

[0094] 본 발명의 실시예 1의 저항 스위치 소자의 과도 동작을 살펴보기 위해서 펄스 전압을 인가하고, 출력 전류를 측정하였다.

[0095] 도 16은 본 발명의 실시예 1의 저항 스위치 소자의 과도동작을 설명하기 위한 1 사이클 입력에 대한 출력 그래프이다. 도 16에서 빨간선은 인가된 전압을 의미하고, 파란선은 출력 전류를 의미한다.

[0096] 도 16을 참조하면, 인가된 서로 다른 전압에 대응되는 본 발명의 실시예 1의 저항 스위치 소자를 가로지르는 전류의 변화를 확인할 수 있다. (1) 및 (3)의 포인트에서 대응되는 전류값은 동일하지만, (2)의 포인트에서는 달라진다. 이는 1. 5V로 인가된 전압에 의한 전도 필라멘트 형성 때문이다.

[0097] 도 17은 본 발명의 실시예 1의 저항 스위치 소자의 과도동작을 설명하기 위한 10 사이클 입력에 대한 출력 그래프이다. 도 17에서 빨간선은 인가된 전압을 의미하고, 파란선은 출력 전류를 의미한다.

[0098] 도 17을 참조하면, 도 16에서 제시된 입력 전압의 펄스를 10 사이클동안 인가하였을 때의 출력 전류를 확인할 수 있다. 매 1.5 V에 대응되는 출력 전류의 값은 증가한다(도 17의 화살표). 이는 본 발명의 실시예 1의 저항 스위치 소자가 신경모방 장치에 사용될 수 있음을 의미한다. 특히, 본 발명의 실시예 1의 저항 스위치 소자의 점진적인 전류 변화의 방식은 신경모방 연산의 적용에 적합할 수 있다. 왜냐하면, 인간의 신경은 입력이 반복됨에 따라서 점차 적응형의 신호를 방출하기 때문이다.

[0099] 실제로, 입력 펄스 전압을 통해서 전류의 조절이 가능한 아날로그 메모리 장치는 시냅스의 기능을 수행할 수 있다.

[0101] **실험예 4**

[0102] 일반적으로, 뉴런은 입력 신호를 더하고, 전체가 문턱값에 도달하면 스파이크 신호를 생성한다. 본 발명에서 이러한 특성을 찾기 위해서, 본 발명의 실시예 1의 저항 스위치 소자의 펄스 전압 인가에 따른 점진적인 전류 변화 특성을 측정하였다. 연속적인 DC 펄스 전압은 0에서 1.3V의 크기를 가진다.

[0103] 도 18은 본 발명의 실시예 1의 저항 스위치 소자에 인가된 펄스 전압에 따른 출력 전류를 나타낸 그래프이다. 도 18에서 빨간선은 인가된 전압을 의미하고, 파란선은 출력 전류를 의미한다.

[0104] 도 18을 참조하면, 전류 레벨은 각각의 펄스 이후에 지속적으로 증가한다. 이러한 동작은 생물학적 시냅스의 시냅스 신호와 동일하다. 실제로, 출력 전류는 프로그램된 펄스 전압에 의해서 조절될 수 있다. 이러한 사실은 더 높은 주파수의 펄스 전압이 본 발명의 실시예 1의 저항 스위치 소자에 인가될 때 더욱 명확해진다(도 18의 마지막 부분). 여기서, 전류는 더욱 급속하게 증가된다. 이러한 결과는 본 발명의 실시예 1의 저항 스위치 소자가 신경모방 연산에 적합하다는 것을 나타낸다.

[0105] 다중모드 저항 스위치의 메커니즘과 복합 전자 이온 시스템에서의 펄스에 따른 점진적인 전류 변화의 유력한 원인 중 하나는 전기 유도 Br 이온 이동이다. 이는 전도 필라멘트 형성을 생성할 수 있다.

[0106] 따라서, 본 발명의 실시예 1의 저항 스위치 소자에서의 4개의 전류 값으로의 전류 변화는 상대적으로 높은 전위에서의 이온 이동의 증가에 따른 서로 다른 크기의 필라멘트의 형성에 기인한다.

[0107] 실제로, 상기 필라멘트의 크기는 세트 과정에서 전기장을 변화시킴에 따른 이온 주입/배출에 의해서 조절될 수 있으므로, 신경모방 동작의 이온 이동과 유사하게 동작하는 것으로 간주할 수 있다. 펄스의 숫자가 증가함에 따라, 한쪽 단부를 향하는 Br 이온의 숫자도 증가하고, 결과적으로 전체 전류를 증가시킨다.

[0108] 도 19는 본 발명의 실시예 1의 저항 스위치 소자가 저항과 같이 동작할 때의 밴드 다이어그램을 설명하기 위한 개념도이고, 도 20은 본 발명의 실시예 1의 저항 스위치 소자가 다이오드와 같이 동작할 때의 밴드 다이어그램을 설명하기 위한 개념도이다.

[0109] 도 19를 참조하면, 본 발명의 실시예 1의 저항 스위치 소자는 어떤 모드에서는 선형적 출력 전류를 보여준다. 이는 옴릭 장치로 표현할 수 있다.

[0110] 도 20을 참조하면, 상기 이온들이 페로브스카이트막과 산화막의 계면에 도달하면, 전위 배리어를 형성하여 본 발명의 실시예 1의 저항 스위치 소자는 다이오드와 같은 동작을 보여준다. 즉, 셋과 리셋의 과정은 전기장 유도

이온 이동에 의할 수 있다.

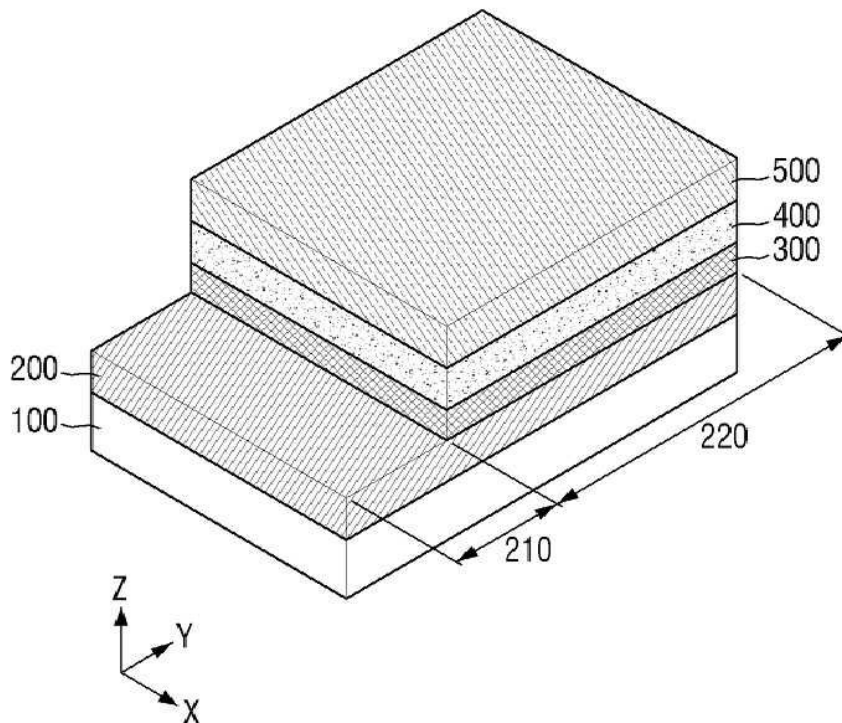
[0111] 이상 실험예 및 첨부된 도면을 참조하여 본 발명의 실시예들을 설명하였지만, 본 발명이 속하는 기술분야에서 통상의 지식을 가진 자는 본 발명의 그 기술적 사상이나 필수적인 특징을 변경하지 않고서 다른 구체적인 형태로 실시될 수 있다는 것을 이해할 수 있을 것이다. 그러므로 이상에서 기술한 실시예들은 모든 면에서 예시적인 것이며 한정적이 아닌 것으로 이해해야만 한다.

부호의 설명

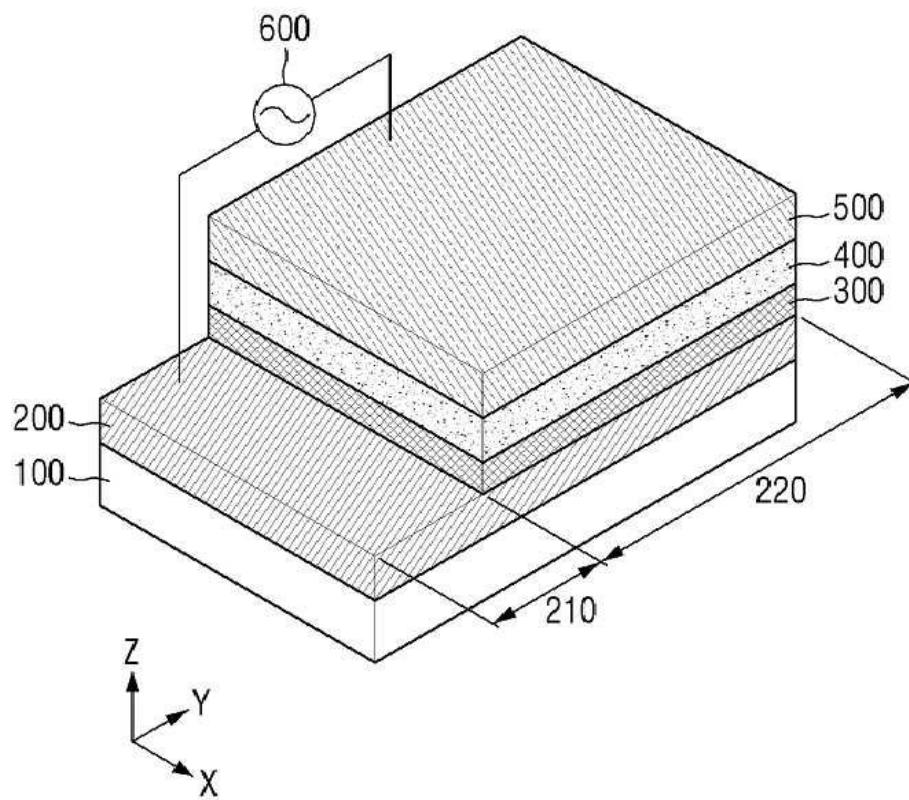
[0112] 100: 투명 기판 200: 투명 전도체막
300: 아연 산화막 400: 페로브스카이트막
500: 니켈 산화막

도면

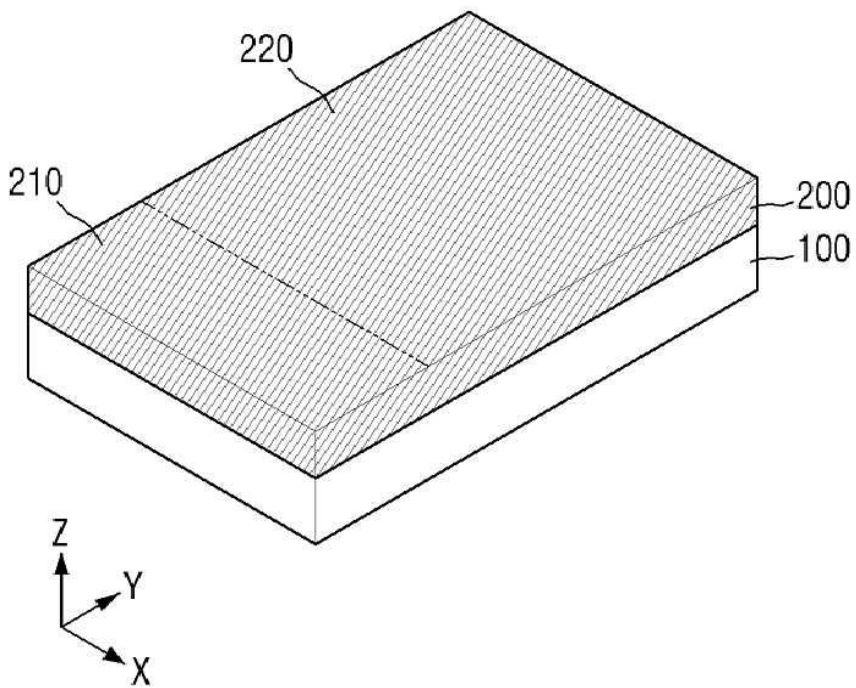
도면1



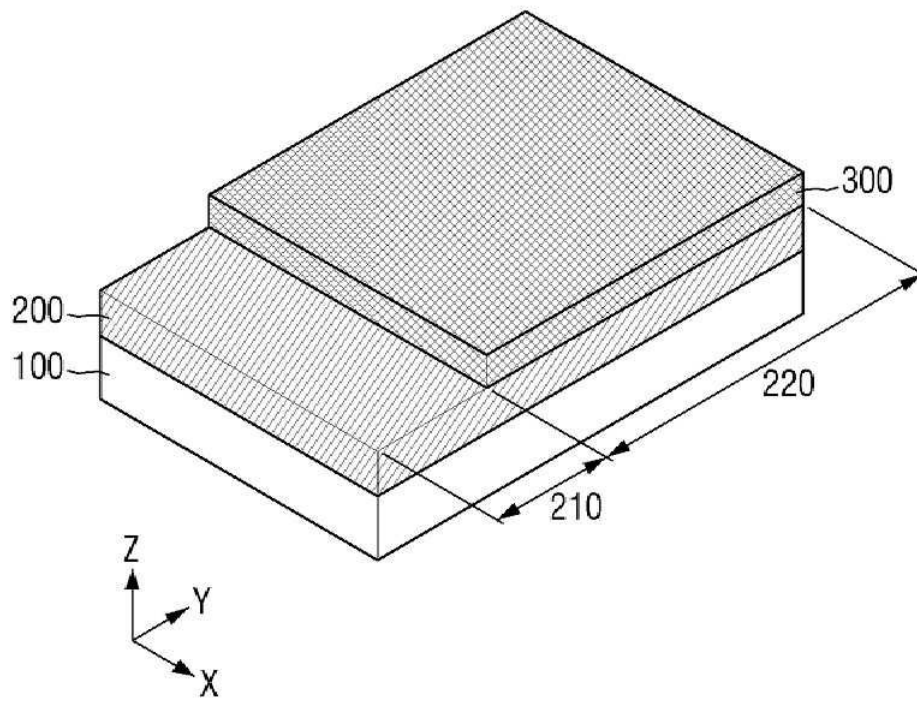
도면2



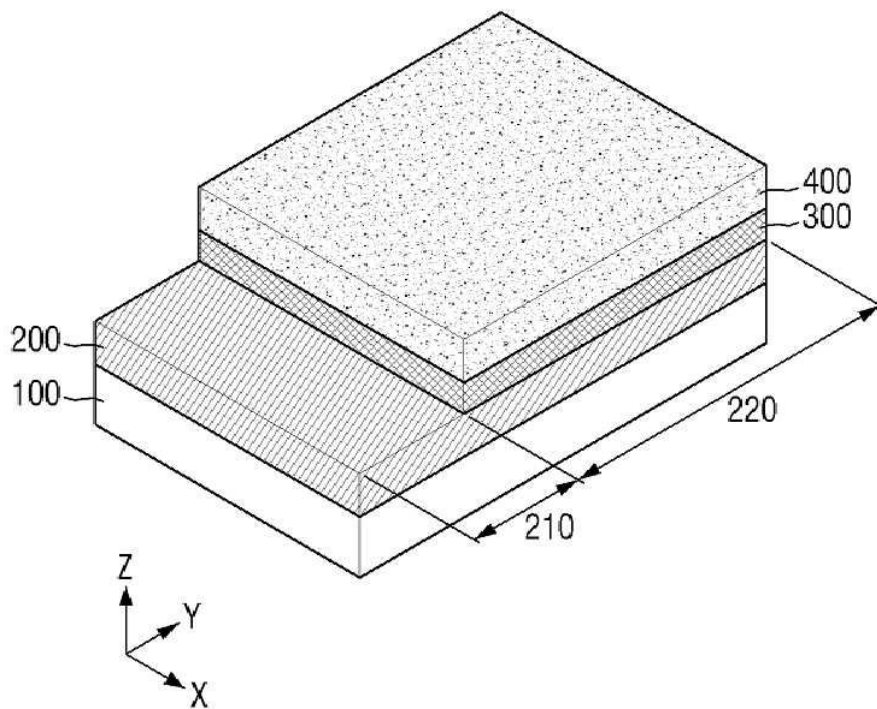
도면3



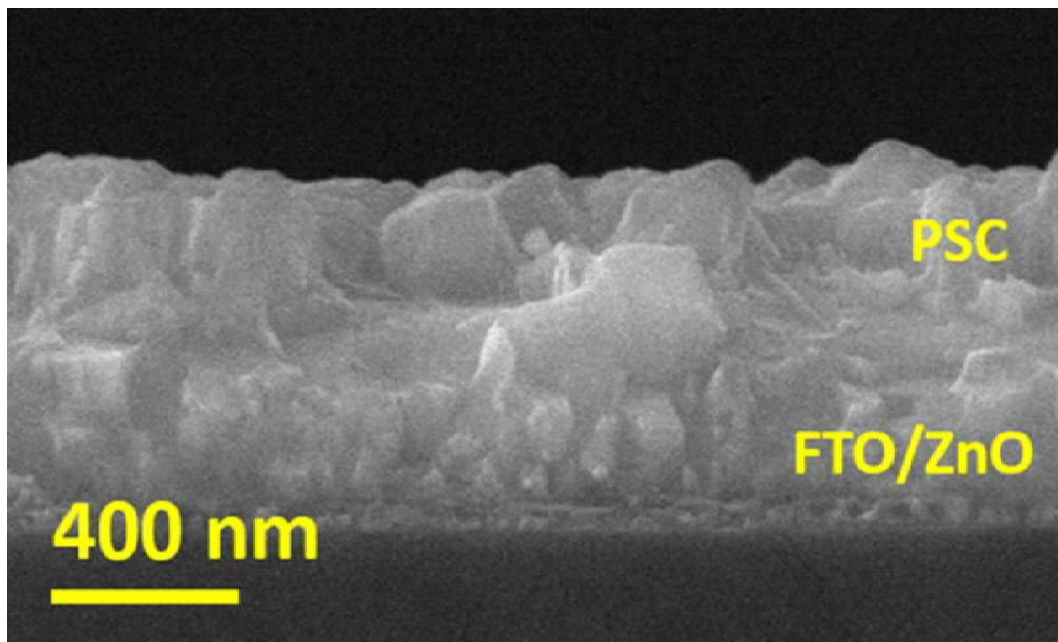
도면4



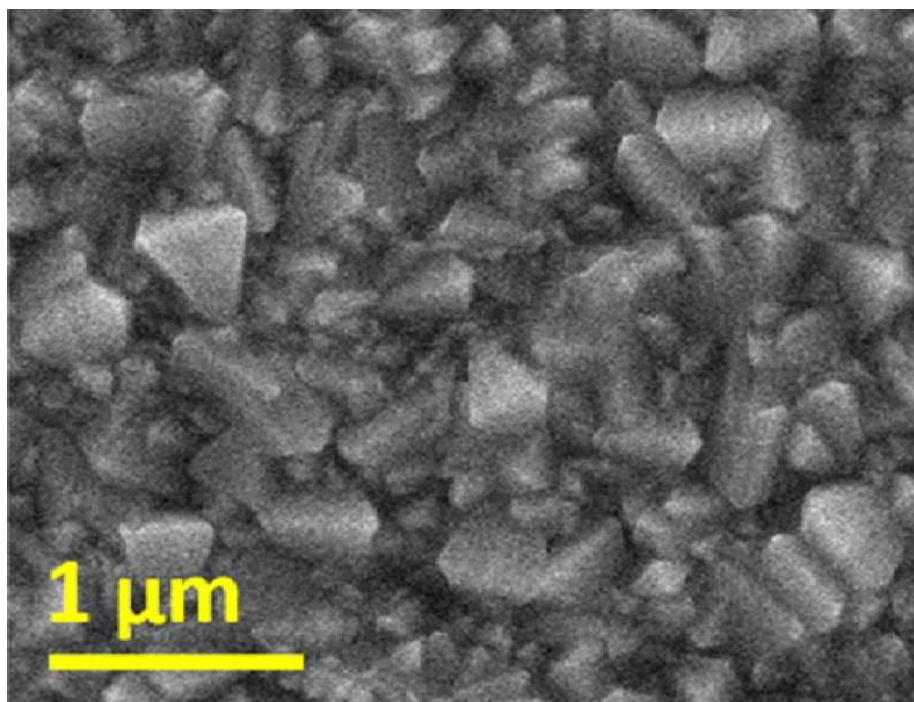
도면5



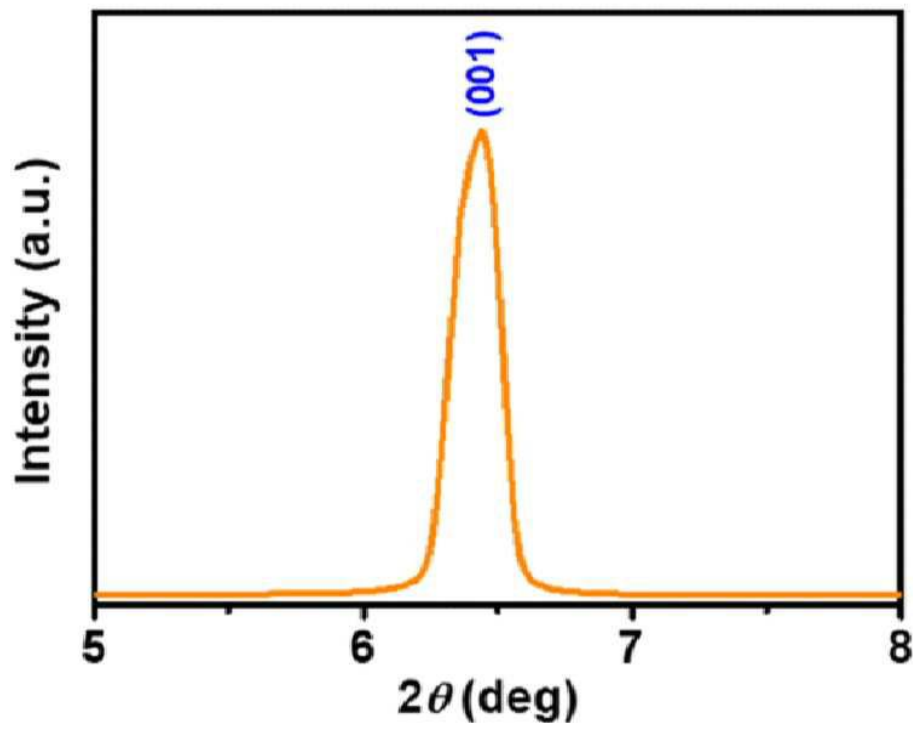
도면6



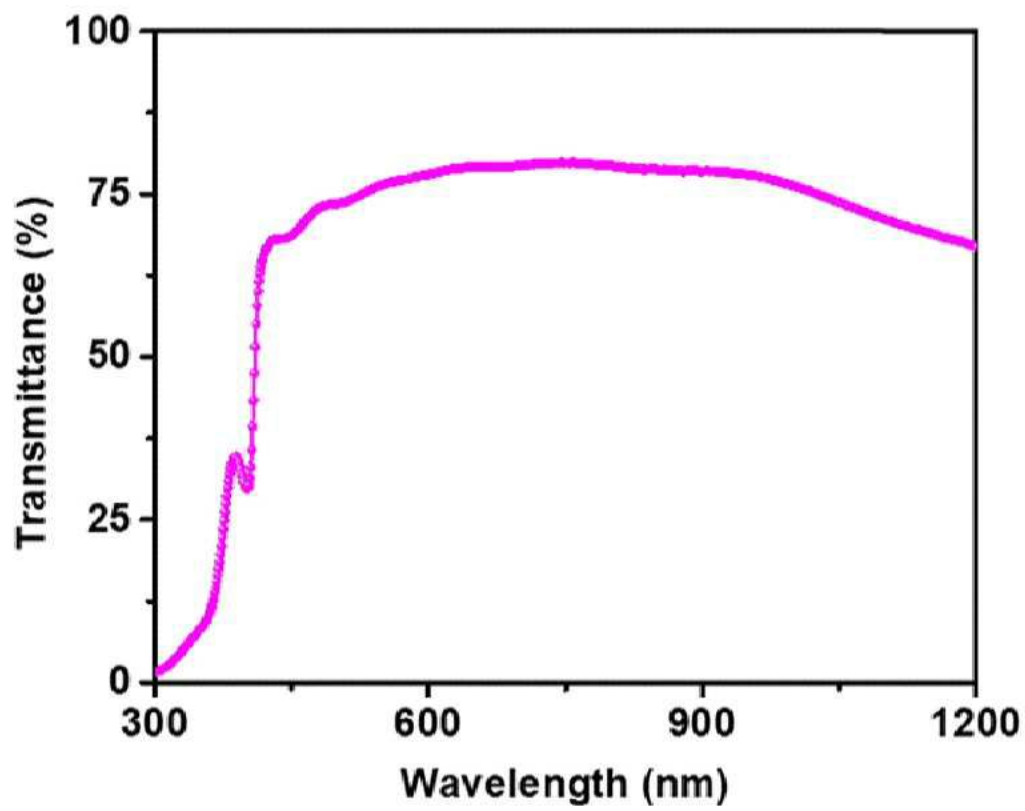
도면7



도면8



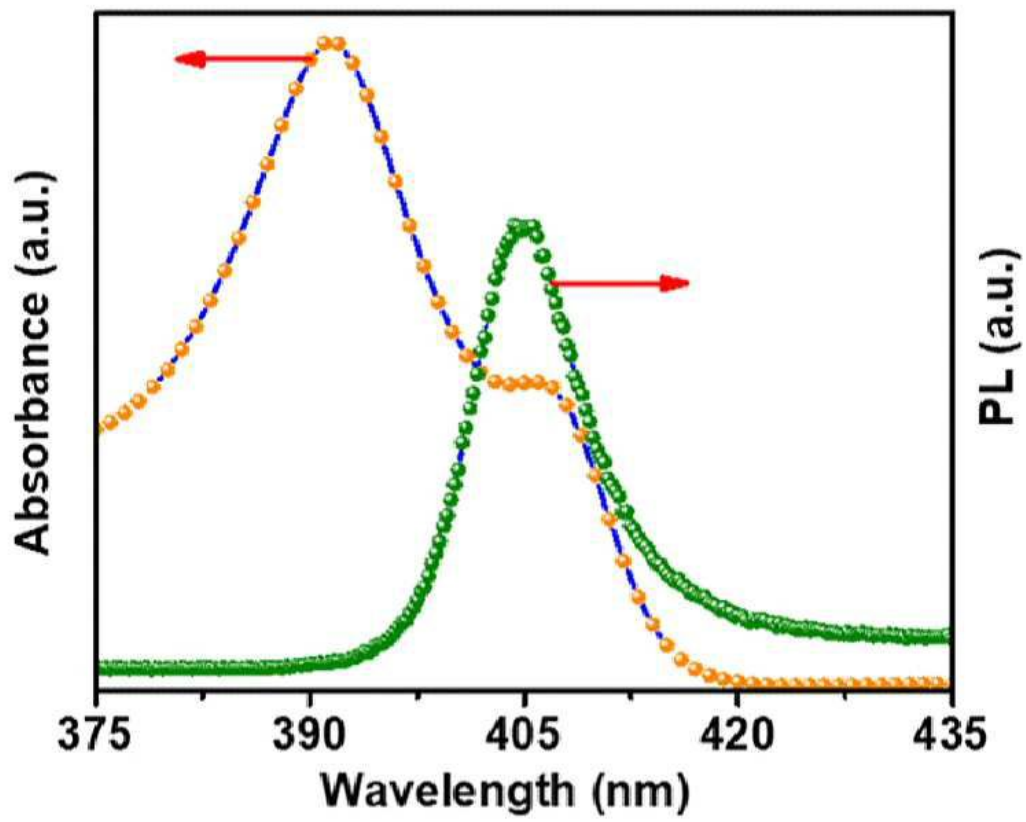
도면9



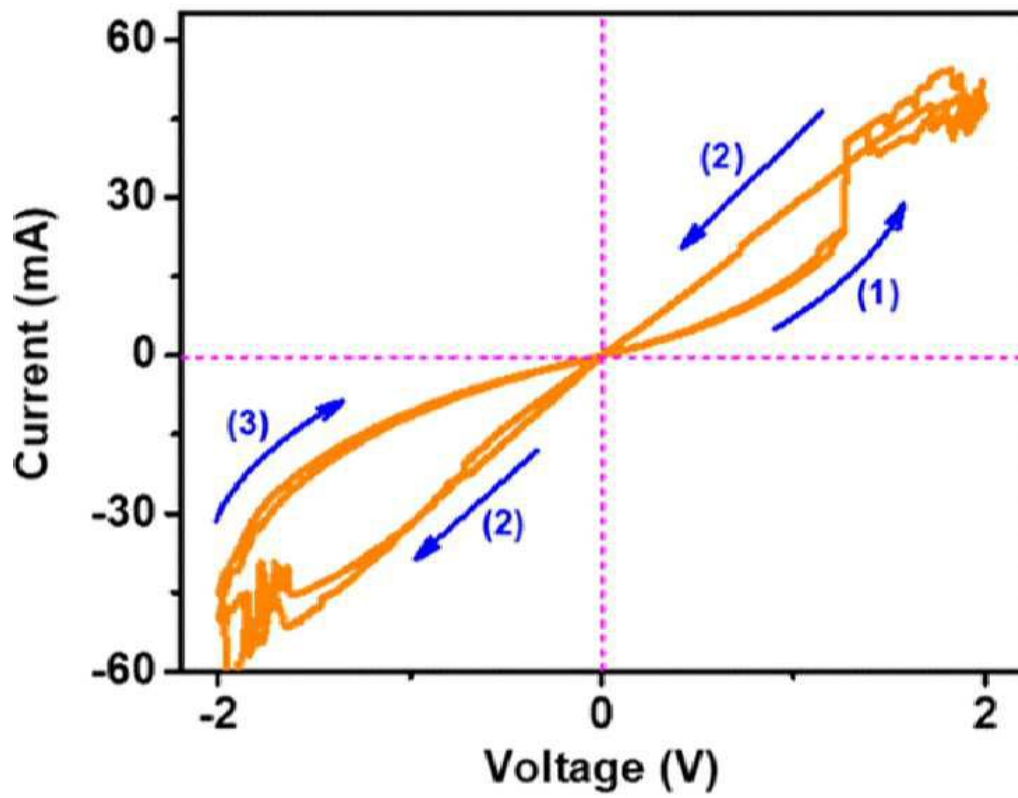
도면10



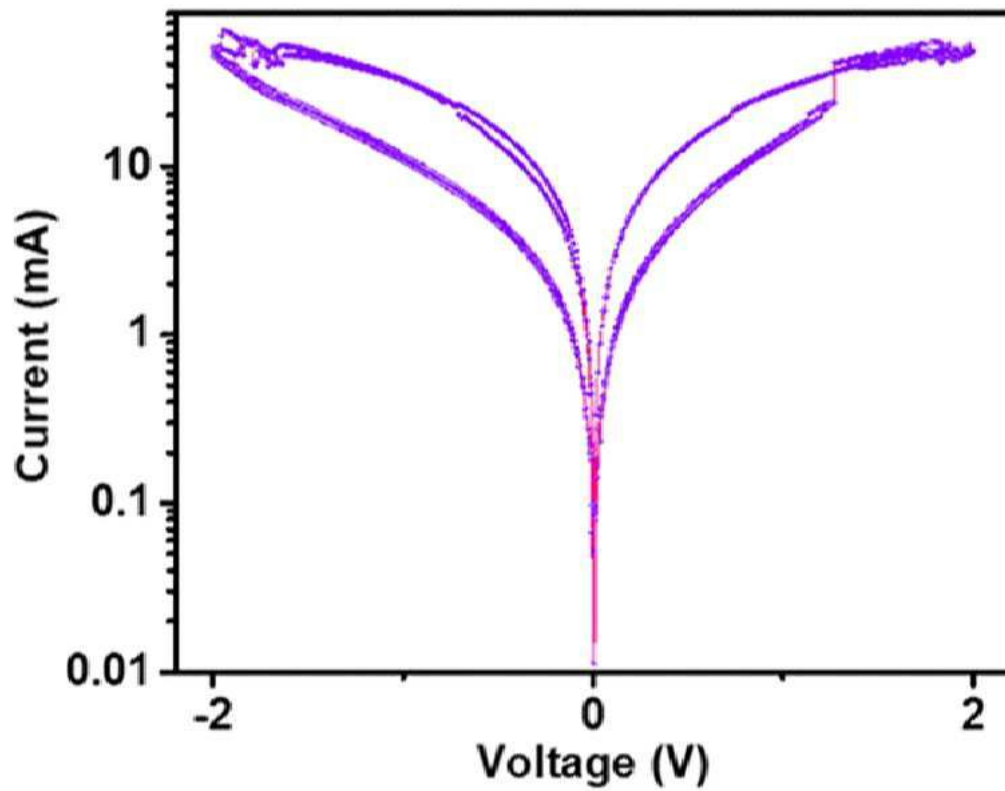
도면11



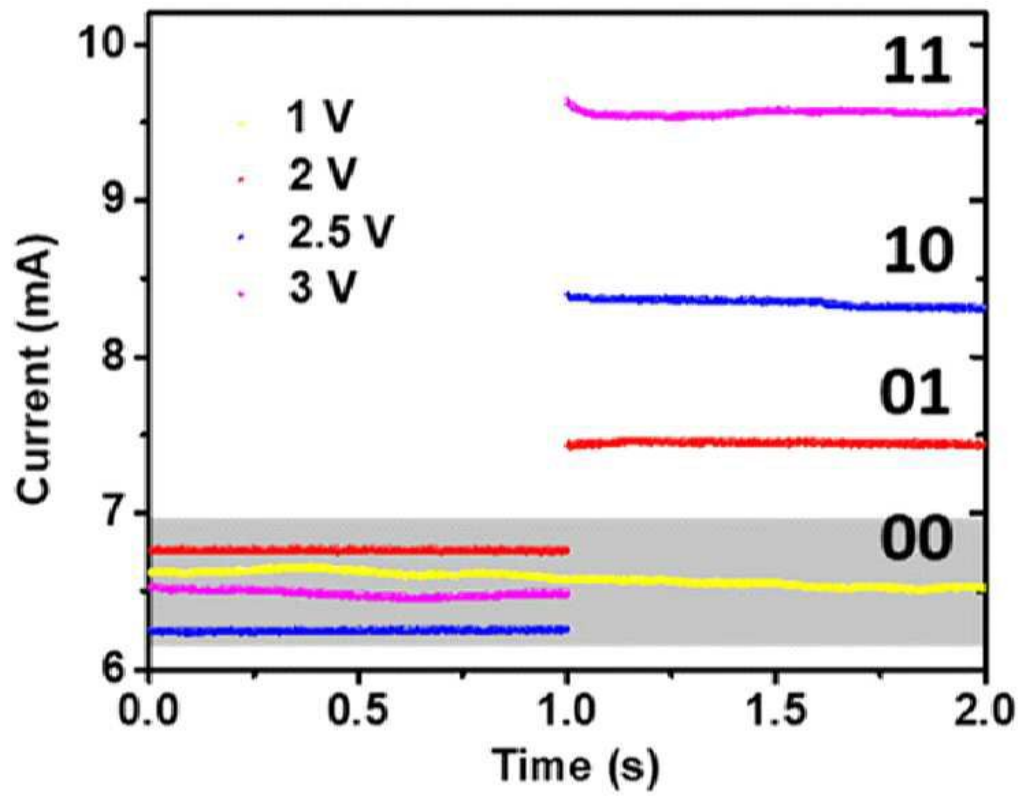
도면12



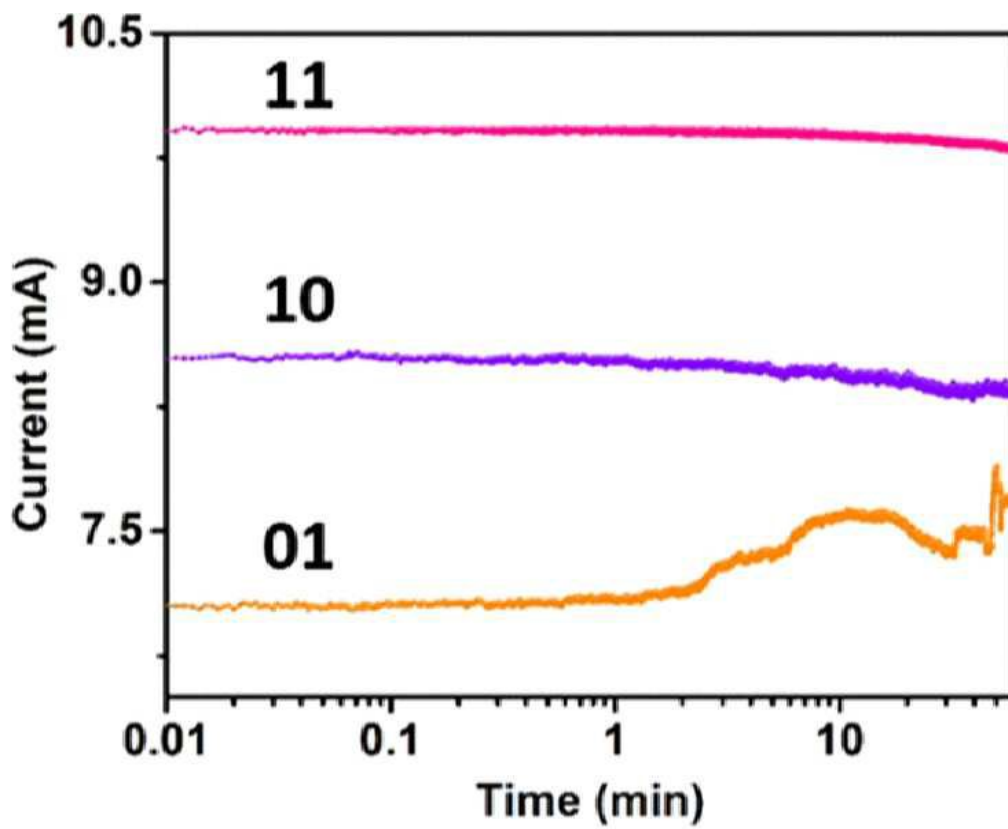
도면13



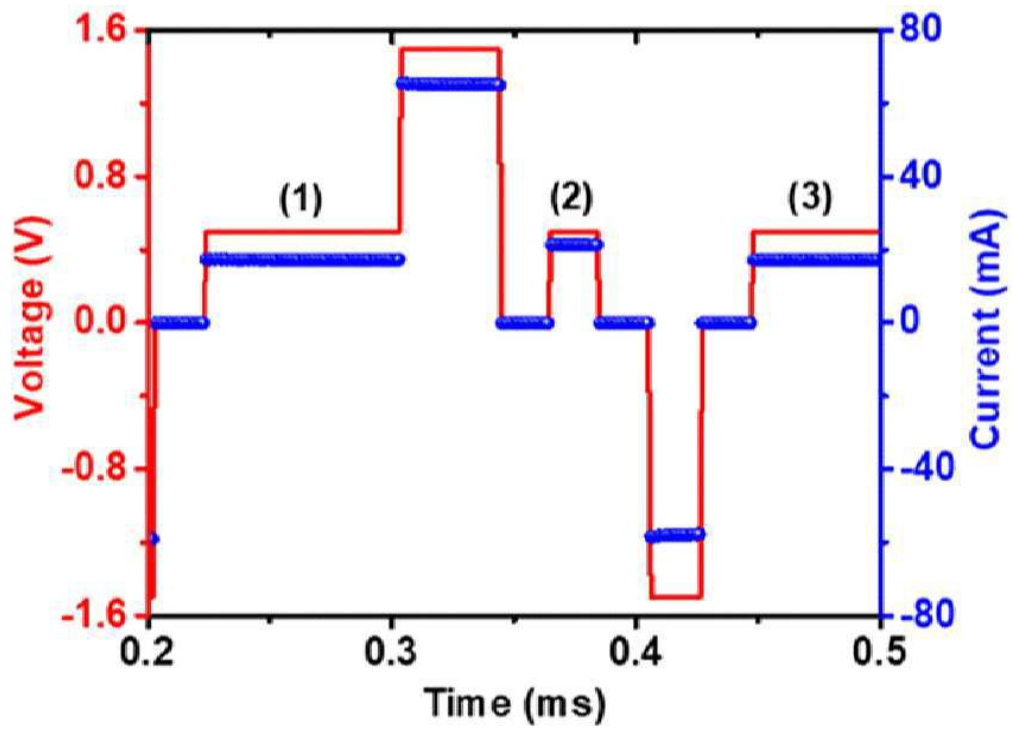
도면14



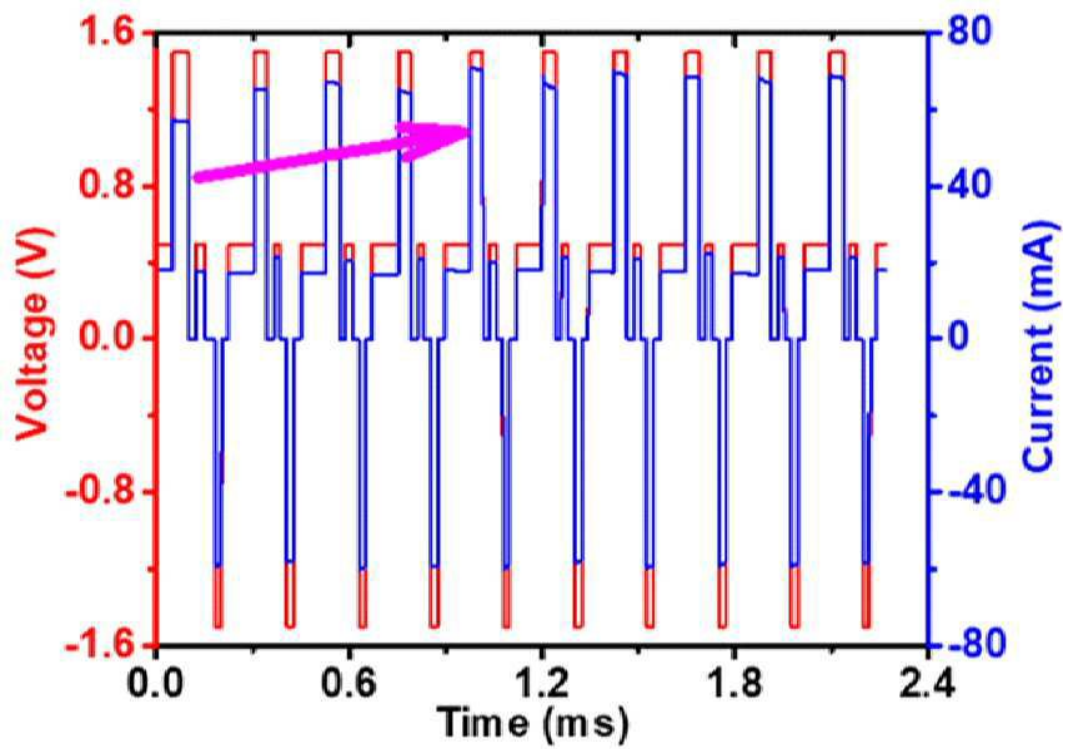
도면15



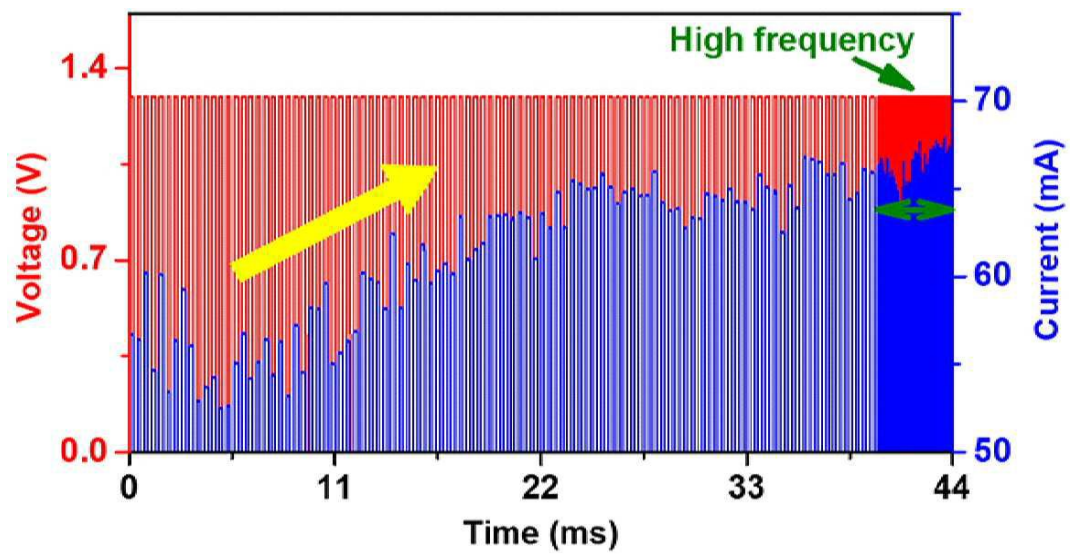
도면16



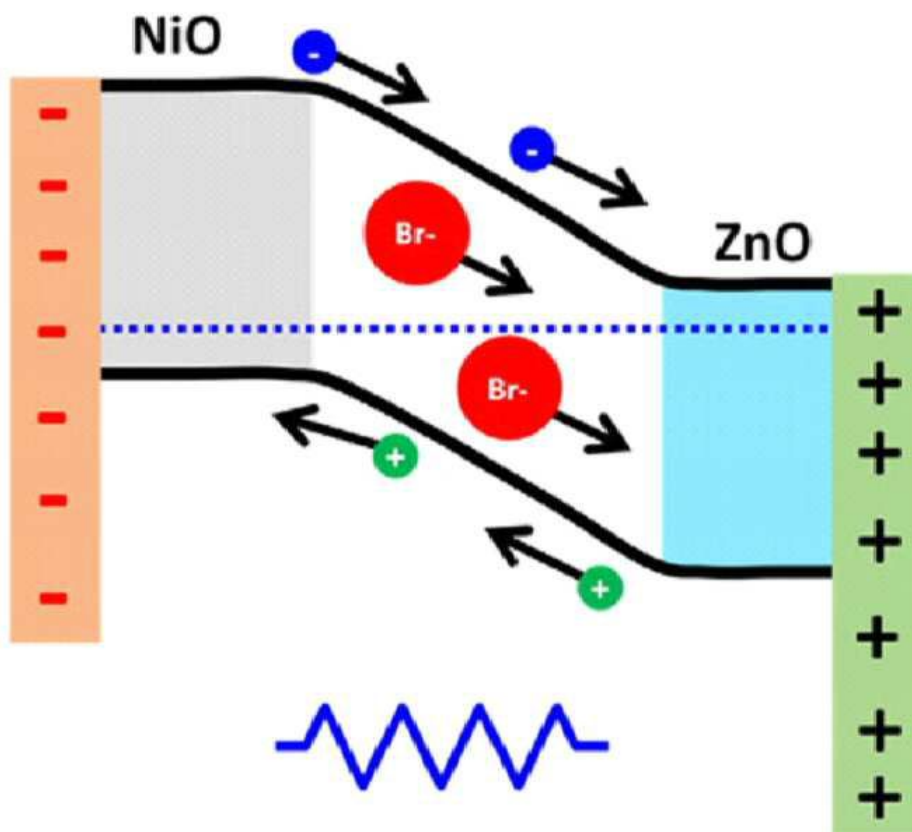
도면17



도면18



도면19



도면20

