



(19) 대한민국특허청(KR)

(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2020년06월03일

(11) 등록번호 10-2117925

(24) 등록일자 2020년05월27일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)

H02N 1/04 (2006.01)

(52) CPC특허분류

H02N 1/04 (2013.01)

(21) 출원번호 10-2018-0153458

(22) 출원일자 2018년12월03일

심사청구일자 2018년12월03일

(56) 선행기술조사문헌

“Dynamic Behavior of the Triboelectric Charges and Structural Optimization of the Friction Layer for a Triboelectric Nanogenerator”, Nuanyang Cui, ACS NANO (2016.04.29. 공개)*

KR101714122 B1*

KR1020180029629 A

*는 심사관에 의하여 인용된 문헌

(73) 특허권자

경희대학교 산학협력단

경기도 용인시 기흥구 덕영대로 1732 (서천동, 경희대학교 국제캠퍼스내)

동국대학교 산학협력단

서울특별시 중구 필동로1길 30 내 (필동3가, 동국대학교)

(72) 발명자

최덕현

경기도 성남시 분당구 정자로76번길 10, 203동 805호(정자동, 상록마을라이프2단지아파트)

박현우

경기도 성남시 수정구 수정남로164번길 15-10, 1층(신흥동)

(뒷면에 계속)

(74) 대리인

김연권

전체 청구항 수 : 총 17 항

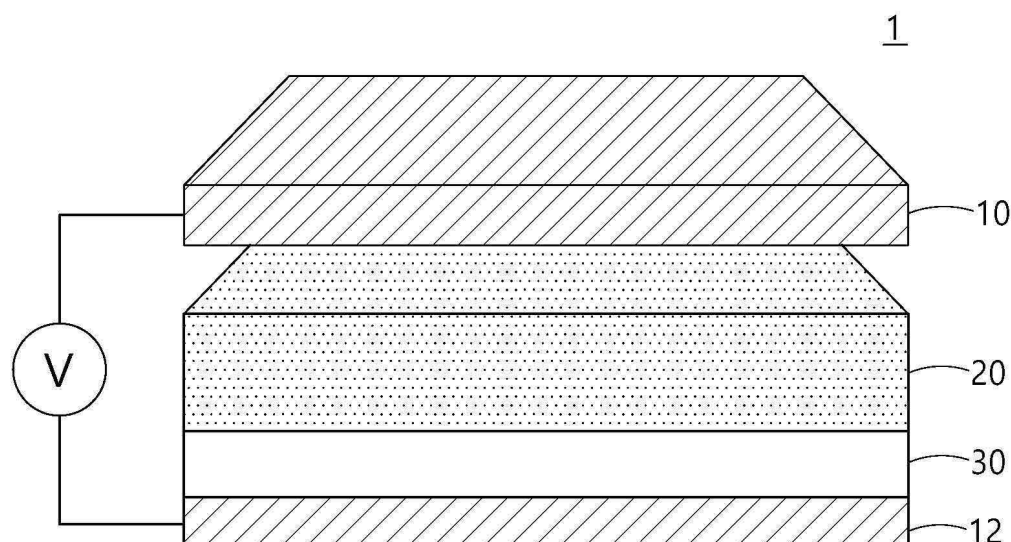
심사관 : 장성진

(54) 발명의 명칭 마찰전기 발전기 및 그 제조방법

(57) 요약

본 발명은 유전율이 높은 재질의 전자 차단층을 전극층에 증착하면 표면 전하가 제어됨에 따라 기존의 마찰 전기 발전기보다 출력이 향상되는 마찰전기 발전기 및 그 제조방법에 관한 것으로, 제1 전극과, 상기 제1 전극과 전기적으로 연결된 상태로 소정 간격 이격되는 제2 전극과, 상기 제1 전극과 선택적으로 접촉되고, 상기 제1 전극 및 상기 제2 전극 사이에 구비되며, 상기 제1 전극과 전기음성도의 차이가 나는 재질로 형성되는 마찰층 및 일 단은 상기 마찰층에 결합되고, 타 단은 상기 제2 전극에 결합되며, 상기 마찰층에 비하여 유전율이 높은 재질로 형성되는 전자 차단층을 포함한다.

대표도 - 도1



(72) 발명자

정권범

서울특별시 송파구 양재대로 1218, 320동 602호(방
이동, 올림픽선수기자촌아파트)

현던니아

경기도 용인시 기흥구 덕영대로 1732(서천동)

김욱

충청남도 당진시 신평면 밭골길 9

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호 1711073778

부처명 과학기술정보통신부

연구관리전문기관 한국연구재단

연구사업명 원천기술개발사업

연구과제명 에너지 발생/저장소자 임베디드 고신뢰성 웨어러블 직불소재 연구

기 여 율 1/3

주관기관 경희대학교 산학협력단

연구기간 2014.09.01 ~ 2019.08.31

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호 1711065988

부처명 과학기술정보통신부

연구관리전문기관 한국연구재단

연구사업명 기초연구실지원사업

연구과제명 나노표면 기반 전기에너지 생산 기초연구실

기 여 율 1/3

주관기관 경희대학교 산학협력단

연구기간 2016.06.01 ~ 2019.02.28

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호 1345276248

부처명 과학기술정보통신부

연구관리전문기관 한국연구재단

연구사업명 리서치펠로우지원사업

연구과제명 계면 제어를 통한 고효율/고내구성 정전소자의 에너지 변환 메커니즘 규명 연구

기 여 율 1/3

주관기관 경희대학교 산학협력단

연구기간 2017.06.01 ~ 2019.05.31

공지예외적용 : 있음

명세서

청구범위

청구항 1

제1 전극;

상기 제1 전극과 전기적으로 연결된 상태로 소정 간격 이격되는 제2 전극;

상기 제1 전극과 선택적으로 접촉되고, 상기 제1 전극 및 상기 제2 전극 사이에 구비되며, 상기 제1 전극과 전기음성도의 차이가 나는 재질로 형성되는 마찰층; 및

일 단은 상기 마찰층에 결합되고, 타 단은 상기 제2 전극에 결합되는 전자 차단층;

을 포함하며,

상기 전자 차단층은 산소 결핍(Oxygen vacancy) 부분을 가지며 상기 마찰층보다 유전율이 높은 재질로 마련되어, 상기 마찰층의 분극을 강화시키는 마찰전기 발전기.

청구항 2

제1항에 있어서,

상기 전자 차단층은 상기 제2 전극에 박막 형태로 증착되는 마찰전기 발전기.

청구항 3

제2항에 있어서,

상기 전자 차단층은 상기 제2 전극에 스퍼터링 방식으로 증착되고, 상기 마찰층은 상기 전자 차단층 상에 결합되는 마찰전기 발전기.

청구항 4

제1항에 있어서,

상기 전자 차단층은 산화물로 형성되는 마찰전기 발전기.

청구항 5

제4항에 있어서,

상기 전자 차단층은 TiO_x , AlO_x 및 HfO_x 가운데 적어도 하나의 재질을 포함하는 마찰전기 발전기.

청구항 6

제1항에 있어서,

상기 전자 차단층은 80 내지 120nm의 두께로 형성되는 마찰전기 발전기.

청구항 7

제6항에 있어서,

상기 전자 차단층은 100nm의 두께로 형성되는 마찰전기 발전기.

청구항 8

제1항에 있어서,

상기 마찰층은 상기 제1 전극보다 전기음성도 또는 일함수가 더 큰 재질로 형성되는 마찰전기 발전기.

청구항 9

제8항에 있어서,

상기 마찰층은 PDMS, PTFE, FEP, PAN, PVC 중 어느 하나의 재질로 형성되는 마찰전기 발전기.

청구항 10

제1항에 있어서,

상기 제1 및 제2 전극은 금속 재질로 형성되는 마찰전기 발전기.

청구항 11

제10항에 있어서,

상기 제1 및 제2 전극은 알루미늄 재질로 형성되는 마찰전기 발전기.

청구항 12

제1 전극, 제2 전극, 상기 제1 전극과 전기음성도 차이가 나는 재질의 마찰층을 마련하는 단계;

상기 제2 전극에 산소 결핍(Oxygen vacancy) 부분을 가지며, 상기 마찰층에 비하여 유전율이 높은 재질로 마련되어 상기 마찰층의 분극을 강화시키는 전자 차단층을 증착하는 단계;

상기 전자 차단층 위에 상기 마찰층을 결합하는 단계; 및

상기 제1 전극을 상기 마찰층과 소정 간격 이격 배치하고, 상기 제1 전극 및 상기 제2 전극을 전기적으로 연결하는 단계;

를 포함하는 마찰전기 발전기 제조방법.

청구항 13

제12항에 있어서,

상기 전자 차단층은 스퍼터링 증착 방식에 의한 박막 형태로 상기 제2 전극에 증착되는 마찰전기 발전기 제조방법.

청구항 14

제12항에 있어서,

상기 전자 차단층은 산소 분압이 0%인 상태에서 증착되는 마찰전기 발전기 제조방법.

청구항 15

제12항에 있어서,

상기 전자 차단층은 TiO_x , AlO_x 및 HfO_x 가운데 적어도 하나의 재질을 포함하는 산화물로 형성하는 마찰전기 발전기 제조방법.

청구항 16

제12항에 있어서,

상기 전자 차단층은 80 내지 120nm의 두께로 형성하는 마찰전기 발전기 제조방법.

청구항 17

제12항에 있어서,

상기 제1 전극 및 제2 전극은 금속재질로 형성되고, 상기 마찰층은 PDMS 재질로 형성되는 마찰전기 발전기 제조방법.

발명의 설명

기술 분야

- [0001] 본 발명은 출력 향상을 위한 마찰 전기 발전기에 관한 것으로, 상세하게는 유전율이 높은 재료의 전자 차단층을 전극층에 증착하여 표면 전하가 제어됨에 따라 기존의 마찰 전기 발전기보다 출력이 향상되는 마찰전기 발전기 및 그 제조방법에 관한 것이다.

배경 기술

- [0002] 마찰전기 발전은 마찰에 의해 전기를 생성하는 것으로, 기존의 태양전지, 수력, 풍력 등과 같은 친환경 에너지와 달리 주변에서 발생하는 미세한 진동이나 운동시 발생하는 소모성 기계적 에너지를 전기 에너지로 추출할 수 있다.
- [0003] 마찰식 나노 발전기는 마찰 대전 특성이 서로 다른 두 물체 사이의 상호 접촉과 분리를 이용하여 발전하는 것으로, 대부분의 마찰식 나노 발전기는 두 개의 전극층을 반드시 필요로 한다. 그리고 하나의 전극층과 마찰하는 박막 재료의 표면에 도전성 금속을 부착한 다음 두 개의 전극층이 접촉과 분리를 통해 전력을 출력하게 된다.
- [0004] 따라서 마찰식 나노발전기(마찰 전기 나노 발전기)는 가벼운 무게, 휴대 가능하다는 점, 환경 친화성, 저비용 등의 바람직한 특성으로 인해 촉망 받는 차세대 에너지 발생장치로 평가받고 있으며, 마찰식 나노발전기와 관련된 다수의 기술이 제안되어 있다.
- [0005] 예를 들어, 한국 공개특허공보 제10-2017-0126522호(공개일자: 2017.11.17)은 단극 마찰식 나노발전기, 발전 방법 및 자체 구동 추적 장치에 관한 것으로, 폴리머 재료와 금속 재료가 서로 다른 마찰대전 특성을 가지는 특성을 이용하여 단극 마찰식 발전기를 구축하며, 이 발전기를 기초로 하는 추적 시스템을 제조한다.
- [0006] 하지만, 선행문헌을 비롯한 다수의 마찰 전기 나노 발전기의 출력을 향상시키기 위한 방법이나 구성에 대한 기술 개발이 부족한 실정이다.

선행기술문헌

특허문헌

- [0007] (특허문헌 0001) 한국 공개특허공보 제10-2017-0126522호(공개일자: 2017.11.17)

발명의 내용

해결하려는 과제

- [0008] 본 발명은 마찰전기 발전기의 출력을 향상시키고자 한다.
- [0009] 본 발명은 전극과 마찰재 사이에 전자 차단층을 구비하여 마찰재의 표면에서 높은 표면 전하 밀도를 유지할 수 있도록 하고자 한다.

과제의 해결 수단

- [0010] 본 발명은 상기 목적을 달성하기 위한 출력 향상을 위한 마찰 전기 발전기에 관한 것으로, 제1 전극과, 상기 제1 전극과 전기적으로 연결된 상태로 소정 간격 이격되는 제2 전극과, 상기 제1 전극과 선택적으로 접촉되고, 상기 제1 전극 및 상기 제2 전극 사이에 구비되며, 상기 제1 전극과 전기음성도의 차이가 나는 재료로 형성되는 마찰층 및 일 단은 상기 마찰층에 결합되고, 타 단은 상기 제2 전극에 결합되며, 상기 마찰층에 비하여 유전율이 높은 재료로 형성되는 전자 차단층을 포함한다.
- [0011] 바람직하게는, 상기 전자 차단층은 상기 제2 전극에 박막 형태로 증착된다.
- [0012] 바람직하게는, 상기 전자 차단층은 상기 제2 전극에 스퍼터링 방식으로 증착되고, 상기 마찰층은 상기 전자 차단층 상에 결합된다.
- [0013] 바람직하게는, 상기 전자 차단층은 산화물로 형성된다.

- [0014] 바람직하게는, 상기 전자 차단층은 TiO_x , AlO_x 및 HfO_x 가운데 적어도 하나의 재질을 포함한다.
- [0015] 바람직하게는, 상기 전자 차단층은 80 내지 120nm의 두께로 형성된다.
- [0016] 바람직하게는, 상기 전자 차단층은 100nm의 두께로 형성된다.
- [0017] 바람직하게는, 상기 마찰층은 상기 제1 전극보다 전기음성도 또는 일함수가 더 큰 재질로 형성된다.
- [0018] 바람직하게는, 상기 마찰층은 PDMS, PTFE, FEP, PAN, PVC 중 어느 하나의 재질로 형성된다.
- [0019] 바람직하게는, 상기 제1 및 제2 전극은 금속 재질로 형성된다.
- [0020] 바람직하게는, 상기 제1 및 제2 전극은 알루미늄 재질로 형성된다.
- [0021] 바람직하게는, 제1 전극, 제2 전극, 상기 제1 전극과 전기음성도 차이가 나는 재질의 마찰층을 마련하는 단계와, 상기 제2 전극에 상기 마찰층에 비하여 유전율이 높은 전자 차단층을 증착하는 단계와, 상기 전자 차단층 위에 상기 마찰층을 결합하는 단계 및 상기 제1 전극을 상기 마찰층과 소정 간격 이격 배치하고, 상기 제1 전극 및 상기 제2 전극을 전기적으로 연결하는 단계를 포함한다.
- [0022] 바람직하게는, 상기 전자 차단층은 스퍼터링 증착 방식에 의한 박막 형태로 상기 제2 전극에 증착된다.
- [0023] 바람직하게는, 상기 전자 차단층은 산소 분압이 0%인 상태에서 증착된다.
- [0024] 바람직하게는, 상기 전자 차단층은 TiO_x , AlO_x 및 HfO_x 가운데 적어도 하나의 재질을 포함한다.
- [0025] 바람직하게는, 상기 전자 차단층은 80 내지 120nm의 두께로 형성된다.
- [0026] 바람직하게는, 상기 제1 전극 및 제2 전극은 금속재질로 형성되고, 상기 마찰층은 PDMS 재질로 형성된다.

발명의 효과

- [0027] 본 발명에 따른 마찰전기 발전기는 출력 전력이 향상되는 효과가 있다.
- [0028] 본 발명은 전자 차단층의 전자 차단과 향상된 분극의 커플링 효과로 인해 출력 전력 향상이 이루어진다.
- [0029] 본 발명은 전자 차단층의 두께와 재질에 따라 출력 전력이 향상되는 효과가 있다.

도면의 간단한 설명

- [0030] 도 1은 본 발명에 따른 마찰전기 발전기의 정면도,
- 도 2는 본 발명에 따른 마찰전기 발전기의 작동원리에 대한 도면,
- 도 3는 본 발명에 따른 마찰전기 발전기의 전하 밀도 그래프,
- 도 4는 본 발명에 따른 마찰전기 발전기의 COMSOL 다중 물리 시뮬레이션 그래프,
- 도 5는 본 발명에 따른 마찰전기 발전기에서 전자 차단층 유, 무에 따른 출력 전압과 전류 그래프,
- 도 6는 본 발명에 따른 마찰전기 발전기에서 전자 차단층 유, 무에 따른 표면 전위를 비교한 결과 모습,
- 도 7는 본 발명에 따른 마찰전기 발전기에서 산소 분압에 의한 출력을 비교한 그래프,
- 도 8는 본 발명에 따른 마찰전기 발전기의 산소 K-edge XAS 스펙트럼,
- 도 9는 본 발명에 따른 마찰전기 발전기의 산소 K-edge XAS 스펙트럼 확대도 및 산소 공극 관련 상대적 영역에 대한 그래프,
- 도 10는 본 발명에 따른 마찰전기 발전기의 산소 결손에 따른 전자 트랩 메커니즘의 개략도,
- 도 11는 본 발명에 따른 마찰전기 발전기에서 전자 차단층의 두께에 따른 출력 전압과 전류를 비교한 그래프,
- 도 12는 본 발명에 따른 마찰전기 발전기에서 전자 차단층의 두께에 따른 산소 K-edge XAS 스펙트럼,
- 도 13는 본 발명에 따른 마찰전기 발전기에서 전자 차단층의 함수로서 상대 분자 궤도비의 상대 비율 그래프,
- 도 14는 본 발명에 따른 마찰전기 발전기에서 전하 차단층의 증착 위치에 따른 출력 변화 비교도,

도 15는 본 발명에 따른 마찰전기 발전기에서 전하 차단층을 구성하는 물질에 따른 출력 변화 비교도,
도 16은 본 발명에 따른 마찰전기 발전기를 제작하는 방법에 대한 순서도.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

- [0031] 본 발명의 실시예에서 제시되는 특정한 구조 내지 기능적 설명들은 단지 본 발명의 개념에 따른 실시예를 설명하기 위한 목적으로 예시된 것으로, 본 발명의 개념에 따른 실시예들은 다양한 형태로 실시될 수 있다. 또한 본 명세서에 설명된 실시예들에 한정되는 것으로 해석되어서는 아니 되며, 본 발명의 사상 및 기술 범위에 포함되는 모든 변경물, 균등물 내지 대체물을 포함하는 것으로 이해되어야 한다.
- [0032] 이하에서는 첨부된 도면을 참조하여 본 발명에 대해 상세히 설명한다.
- [0033] 도 1은 본 발명에 따른 마찰전기 발전기의 정면도에 관한 것이다.
- [0034] 본 발명의 일 실시예에 의한 마찰전기 발전기(1)는 제1 전극(10)과, 제1 전극(10)과 전기적으로 연결된 상태로 소정 간격 이격되는 제2 전극(12)과, 제1 전극(10)과 선택적으로 접촉되고, 제1 전극(10) 및 제2 전극(12) 사이에 구비되며, 제1 전극(10)과 전기음성도의 차이가 나는 재질로 형성되는 마찰층(20) 및 일 단은 마찰층(20)에 결합되고, 타 단은 제2 전극(12)에 결합되며, 마찰층(20)에 비하여 유전율이 높은 재질로 형성되는 전자 차단층(30)을 포함한다.
- [0035] 제1 전극(10) 및 제2 전극(12)은 판상형으로 형성될 수 있고, 전기가 흐를 수 있는 금속 재질로 형성될 수 있다. 제1 전극(10) 및 제2 전극(12)은 금속 재질로 형성될 수 있고, 일례로 전기 전도성이 높은 알루미늄, 구리나 은 등과 같은 금속으로 형성될 수 있다. 제1 전극(10) 및 제2 전극(12)은 서로 같은 재질로 형성될 수도 있고, 서로 다른 재질로 형성될 수도 있다.
- [0036] 제1 전극(10) 및 제2 전극(12)은 서로 소정 간격 이격되어 배치될 수 있다. 제1 전극(10) 및 제2 전극(12) 사이에는, 제1 전극(10)과 선택적으로 접촉되는 마찰층(30)과, 마찰층(30) 및 제2 전극(12) 사이에 삽입되는 전자 차단층(30)이 구비될 수 있다.
- [0037] 또한, 제1 전극(10) 및 제2 전극(12)은 전기가 흐를 수 있는 전선 등의 와이어에 의하여 전기적으로 연결될 수 있으며, 제1 전극(10)이 마찰층(20)과 접촉 및 분리되는 경우 상기 와이어에 전기가 흐르게 될 수 있다.
- [0038] 마찰층(20)은 판상형으로 형성되고, 제1 전극(10)의 하부에 제1 전극(10)과 선택적으로 접촉될 수 있도록 배치될 수 있다.
- [0039] 마찰층(20)은 제1 전극(10)보다 전기음성도가 더 큰 재질로 형성되어 있으며, 이에 따라 제1 전극(10)과 마찰층(20)이 서로 접촉되면 전기음성도가 더 큰 마찰층(20)은 음전하로 대전되고, 마찰층(20)에 비하여 전기음성도가 더 작은 제1 전극(10)은 양전하로 대전될 수 있다.
- [0040] 마찰층(20)은 합성수지 재질로 형성될 수 있고, 일례로 PDMS재질로 형성될 수 있다.
- [0041] 전자 차단층(electron blocking layer, EBL)(30)은 제2 전극(12)에 박막 형태로 증착되는 것으로, 마찰층(20)에 비하여 높은 유전율을 갖는 재질로 형성될 수 있다. 구체적으로, 전자 차단층(30)은 산화물로 형성될 수 있고, TiO_x, AlO_x 및 HfO_x 등의 재질로 형성될 수 있다.
- [0042] 또한, 전자 차단층(30)의 두께는 80 내지 120nm의 두께로 형성되는 것이 발전기의 출력 향상 측면에서 좋고, 바람직하게는 100nm의 두께로 형성되는 것이 좋다.
- [0043] 마찰전기 발전기(1)의 전자 차단층(30)은 제2 전극(12)에 스퍼터링 방식으로 증착될 수 있고, 마찰층(20)은 전자 차단층(30) 상에 결합된다.
- [0044] 마찰층(20)을 전자 차단층(30)에 부착하면 마찰전기 발전기(1)를 완성할 수 있다.
- [0045] 즉, 마찰전기 발전기(1)가 수직 방향으로 접촉과 분리가 이루어질 수 있도록 제1 전극(10)과 제2 전극(12) 및 마찰층(20)과 전자 차단층(30)을 순서대로 적층시켜 제작하면 될 것이다.
- [0046] 상술한 전자 차단층(30)이 제2 전극(12)과 마찰층(20) 사이에 삽입됨에 따라 마찰전기 발전기(1)의 표면 전하 밀도가 향상됨에 따라 출력 성능이 크게 향상될 수 있으며, 이에 대한 자세한 설명은 후술한다.
- [0047] 도 2는 본 발명에 따른 마찰전기 발전기의 작동원리에 대한 도면을 보여주고 있다.

- [0048] 한 쌍의 전극층(10)(12) 중에서 제2 전극(12)에 마찰층(20)만 위치하는 발전기와 제2 전극(12)과 마찰층(20) 사이에 전자 차단층(30)을 증착시킨 마찰전기 발전기(1)의 구동원리를 비교한 것이다.
- [0049] 도 2의 왼쪽 도면은 제2 전극(12)에 전자 차단층(30)을 증착하지 않은 발전기로서, 제2 전극(12)에 바로 마찰층(20)을 부착시킨 발전기의 제1 전극(10)과 제2 전극(12)을 붙였다 떨어트리는 작업을 반복하게 되면, 마찰층(20)의 표면이 음전하로 대전된다. 이때 마찰층(20)과 제2전극(12) 사이의 계면에서 마찰층(20)의 표면에서 대전된 음전하의 양만큼 양전하의 유도가 이루어지게 된다. 그리고 제2 전극(12) 내에 존재하는 전자인 음전하로 인해 제2 전극(12)과 마찰층(20) 계면에서 스크린 아웃(screen out)되는 양전하가 존재함에 따라 이는 마찰층(20) 표면의 전하밀도를 감소하게 된다.
- [0050] 반면에 제2 전극(12)과 마찰층(20) 사이에 전자 차단층(30)을 삽입한 마찰전기 발전기(1)의 경우, 마찰층(20)의 출력 특성을 향상할 수 있으며, 전자 차단층(30)의 유전율을 통해 마찰층(20)의 출력특성을 제어할 수 있게 된다.
- [0051] 즉, 전자 차단층(30)에 존재하는 산소 결핍(Oxygen vacancy) 부분에 의한 자유 전자의 이동 억제를 통해 양전하가 유지되고, 높은 유전율로 인해 분극을 늘려 출력이 향상되는 효과가 있다.
- [0052] 또한 마찰전기 발전기(1)의 표면 전하 밀도는 마찰층(20)에 높은 유전율 입자를 사용하는 편극으로 복합체를 형성함으로써 향상될 수 있다. 즉, 전자 차단층(30)은 산화 물질인 산화 알루미늄(Al₂O₃), 산화 티타늄(TiO₂) 및 산화 하프늄(HfO₂)을 사용하는데, 이는 마찰층(20)에 비하여 유전율이 매우 높기 때문에 높은 유전율을 지닌 전자 차단층(30)이 마찰층(20)의 분극(44)을 개선하여 출력을 향상시킨다.
- [0053] 한편, 마찰전기 발전기(1)의 전자 차단층(30)과 마찰층(20)의 유전율(ϵ_r)값을 측정하기 위해 금속-절연체-금속(M-I-M) 구조에 대해 커패시턴스-전압(C-V)을 하기의 식을 통해 구할 수 있을 것이다.
- $$C_{\max} = \epsilon_r \epsilon_o \frac{A}{d_{\text{film}}}$$
- [0054] 식 (1)
- [0055] 여기서, d_{film} 은 마찰층(20) 또는 전자 차단층(30)의 두께, $C_{\max}$ 는 커패시턴스-전압(C-V) 실험 결과의 최대값, A는 MIM 구조에서 상부 전극의 면적, ϵ_o 는 자유 공간의 유전율이며, ϵ_r 은 마찰층 또는 전자 차단층의 유전율이다.
- [0056] 식 (1)에서 알 수 있듯이, 정전 용량(C) 값은 전자 차단층(30)의 두께에 반비례하므로 두께가 두꺼운 마찰층(20)의 작은 정전 용량을 갖게 될 것이다. 상기의 식을 통해 유전율(ϵ_r)이 높은 전자 차단층(30)과 마찰층(20)의 두께를 조절하여 마찰전기 발전기(1)를 제조할 수 있을 것이다.
- [0057] 도 3은 본 발명에 따른 마찰전기 발전기의 전하 밀도 그래프와 도 4는 본 발명에 따른 마찰전기 발전기의 COMSOL 다중 물리 시뮬레이션 결과를 보여주고 있다.
- [0058] 전자 차단층(30)의 유, 무에 따른 발전기의 표면 전하밀도를 비교한 그래프로, 제2 전극(12)과 마찰층(20) 사이에 전자 차단층(30)을 삽입했을 때 표면 전하밀도가 증가한 것을 알 수 있다.
- [0059] 전자 차단층(30)이 없는(W/O TiO_x EBL) 발전기(1)는 약 15 $\mu\text{C}/\text{m}^2$ 의 표면 전하 밀도를 나타냈지만, 본 발명에 따른 전자 차단층(30)이 삽입(With TiO_x EBL)된 마찰전기 발전기(1)는 30 $\mu\text{C}/\text{m}^2$ 에 이르렀다.
- [0060] 전자 차단층(30)의 유, 무에 따른 마찰전기 발전기(1)의 마찰 전위 분포를 비교하기 위해 COMSOL 다중 물리 시뮬레이션으로 측정한 이미지에 관한 것이다.
- [0061] 좌측의 전자 차단층(30)이 없는(W/O TiO_x EBL) 발전기(1) 보다 우측의 전자 차단층(30)이 삽입(With TiO_x EBL)된 마찰전기 발전기(1)의 마찰 전위 분포가 더 높은 것을 알 수 있다.
- [0062] 도 5는 본 발명에 따른 마찰전기 발전기에서 전자 차단층 유, 무에 따른 출력 전압과 전류를 비교하는 그래프를 보여주고 있다.
- [0063] 전자 차단층(30)이 없는(W/O TiO_x EBL) 발전기는 ~50V의 피크 출력 전압과 2 μA 의 피크 출력 전류를 생성했다. 반면에 전자 차단층(30)이 삽입된(With TiO_x EBL) 마찰전기 발전기(1)는 출력 전압과 전류가 각각 약 272V와

9.1 μA 로 매우 향상된 출력값을 보여주고 있는 것을 알 수 있다.

- [0064] 이는 제2 전극(12)과 마찰층(20) 사이의 계면에 삽입된 절연체 물질인 전자 차단층(30)이 제2 전극(12)에 비해 전자(음전하)가 매우 부족한 물질이기 때문에 계면에 삽입되었을 때, 계면에서 스크린 아웃(screen out)되는 양전하의 양을 줄여주는 전자 차단층(electron blocking layer, EBL)(30)의 역할을 하게 된다.
- [0065] 또한, 전자 차단층(30)은 고 유전상수를 갖는 물질로서 계면에 삽입되었을 때, 마찰층(20)의 높은 분극상태를 유지하여 제1 전극(10)과 접촉할 때 더 많은 전자를 포획할 수 있는 상태가 된다.
- [0066] 이러한 주요한 두 원인으로 제2 전극(12)과 마찰층(20) 사이의 계면에 산화물 박막인 전자 차단층(30)이 삽입된 마찰층(20)의 출력 특성이 증가하는 현상을 설명할 수 있을 것이다.
- [0067] 도 6는 본 발명에 따른 마찰전기 발전기에서 전자 차단층 유, 무에 따른 표면 전위를 비교한 결과에 관한 것이다.
- [0068] 마찰전기 발전기(1)의 출력 성능을 향상시키기 위한 접근법을 입증하기 위해 전자 차단층(30) 유, 무에 따른 마찰층(20) 표면의 마찰 대전량을 CPD 분석을 위해 전극층(10)(12)의 접촉과 분리를 순차적으로 수행했을 때의 모습이다.
- [0069] CPD 분석 방법은 전자 차단층(30)이 없는 발전기 (a)와 전자 차단층(30)을 삽입한 발전기 (b)의 제1 전극(10)과 제2 전극(12)의 접촉과 분리를 통해 마찰층(20) 표면에 유도된 접촉 전위를 측정한다.
- [0070] 제1 전극(10)과 제2 전극(12)의 접촉 전의 경우, 전자 차단층(30)이 없는 마찰층(20)의 표면 전위 값은 815mV이고, 전자 차단층(30)이 있는 마찰층(20)의 표면 전위 값은 395mV이다. 전자 차단층(30)을 포함하는 마찰층(20)의 표면 전위가 현저히 낮은 이유는 전자 차단층(30)에 의해 야기되는 마찰층(20)의 향상된 분극화에 기인할 수 있으며, 이에 따라 마찰층(20)의 표면 상에 존재하는 전자를 상쇄하게 된다.
- [0071] 즉, 접촉 전의 표면 전위 값이 낮은 이유는 제1 전극(10)과 마찰층(20)의 분극이 향상되었기 때문이다.
- [0072] 제1 전극(10)과 제2 전극(12)의 접촉 후 전자 차단층(30)이 없는 마찰층(20)의 표면 전위 값은 마찰 전보다 130mV 큰 954mV인 반면에, 전자 차단층(30)이 구비된 마찰층(20)의 경우 1035mV의 표면 전위 값을 갖으며, 전극층(10)(12)의 접촉 전, 후 과정을 통해 전위 값이 640mV만큼 증가했다.
- [0073] 이는 마찰전기 발전기(1)의 제2 전극(12)과 마찰층(20) 사이에 전자 차단층(30)을 구비함에 따라 전자의 차단과 편광 결합 효과가 향상되어 마찰층(20) 표면에서 높은 표면 전하 밀도를 갖게 된다.
- [0074] 도 7는 본 발명에 따른 마찰전기 발전기에서 산소 분압에 의한 출력을 비교한 그래프에 관한 것이다.
- [0075] 상대습도를 38%로 동일하게 유지하고, 제2 전극(12)과 전자 차단층(30)을 증착할 때 산소 분압을 각각 0%, 1% 및 2%로 조절하여 마찰층(20)의 특성을 조사한 것이다. 다만, 전자 차단층(30)이 없는(W/O TiO_x EBL) 발전기 보다 산소 분압에 상관없이 전자 차단층(30)이 구비된(TiO_x EBL) 마찰전기 발전기(1)의 출력 전압 및 전류가 더 높은 것을 알 수 있다.
- [0076] 산소 분압의 정도에 따른 마찰전기 발전기(1)의 출력 전압 및 전류의 크기는 산소 분압이 높을 때 보다 산소 분압이 낮은 상태에서 제2 전극(12)과 전자 차단층(30)을 증착했을 때의 마찰전기 발전기(1)의 출력 전압 및 전류가 더 높았다. 따라서 전자 차단층(30)을 제2 전극(12)에 증착할 때에는 산소 분압이 0%인 분위기에서 증착이 이루어져야 마찰전기 발전기(1)가 높은 출력 전압을 갖게 될 것이다.
- [0077] 즉, 산소분압이 증가함에 따라 전자 차단층(30)의 전자 차단 특성이 감소했다. 이러한 변화의 주요 원인은 X-선 흡수 분광법을 통한 전자 차단층(30)의 전자구조 분석을 통해 알 수 있으며, 이에 대한 상세한 내용은 하기에서 다루기로 한다.
- [0078] 도 8는 본 발명에 따른 마찰전기 발전기의 산소 K-edge XAS 스펙트럼에 관한 것이다.
- [0079] 전자 차단층(30)의 전자 구조와 전자 차단층(30)을 이용한 마찰전기 발전기(1)의 에너지 전환 메커니즘의 상관관계를 조사한 것으로, XAS에 의해 측정된 산소 분압의 함수는 전자 차단층(30)의 전도대에서 혼성화된 분자 궤도 구조를 도시하고 있다.
- [0080] 전자 차단층(30)의 산소 K-edge 스펙트럼의 정규화된 강도는 국부적인 원자 결합 대칭에 기초한 Ti 궤도(3d 및 4sp 상태)와 O 궤도(2p 상태) 사이의 분자 궤도 혼성화를 직접적으로 반영한다. 산소 K-edge 스펙트럼은 분자 궤도 상태의 에너지 준위를 결정하는데 사용되는 산소 K-edge 스펙트럼의 2차 미분에 대해 6개의 구별된 가우스

흡수 피크로 회귀한다.

- [0081] 산소 분압이 0%에서 2%로 증가함에 따라, 전도대의 상대 면적이 감소했으며, 연장된 전도대 영역에 혼성화된 상태를 부가함에 따라 발생하는 비점유된 흡수 상태의 증가로 인해 전하의 운반이 향상된다.
- [0082] 다시 말해서, 산소분압이 증가하는 경우, 전자 차단층(30)의 전도대 면적이 감소하게 된다. 이는 전자 차단층(30)의 전자구조에서 전도대 내의 비점유된 상태의 감소를 의미하며, 결과적으로 전자 차단층(30) 내에서 전자의 수송능력이 약화될 수 있음을 의미한다.
- [0083] 도 9는 본 발명에 따른 마찰전기 발전기의 산소 K-edge XAS 스펙트럼 확대도 및 산소 공공 관련 상대적 영역에 관한 것이며, 도 10은 본 발명에 따른 마찰전기 발전기의 산소 결손에 따른 전자 트랩 메커니즘의 개략도이다.
- [0084] 전도대 아래에 위치하는 밴드 갭(band gap) 내에 존재하는 산소공공과 밀접하게 연관된 결합상태의 분석에 관한 결과를 도시한 것으로, 산소분압이 증가함에 따라 결합상태의 상대적 면적이 감소하는 경향을 보이고 있다.
- [0085] 산소 공공(oxygen vacancy)이란 산화물에서 발견되는 결합 중 하나로, 산소가 빠져나가 발생하는 음이온 공공이다. 따라서 산화물에서 발생하는 결합은 재료 내의 전기중성도를 맞추는 방향으로 발생하게 되며, 산소의 경우 -2가의 전하를 가지므로 이 빈자리의 전기중성도를 맞추기 위해 2개의 전자를 점유하려고 한다. 산소 공공이 발생하게 되면, conduction band가 안정적인 상태보다 넓어지며, 이는 전기전도도가 증가함을 의미한다.
- [0086] 산소공공은 전기적으로 양전하를 띄기 때문에 음전하특성을 갖는 전자 혹은 산소이온을 트랩 할 수 있게 된다. 따라서 전자 차단 특성 향상을 위해서는 전자를 트랩 할 수 있는 결합상태를 많이 포함한 전자구조가 유리하다는 것을 알 수 있다.
- [0087] 즉, 산소 결핍과 관련된 밴드 에지(band edge) 상태의 변화는 전자 차단층(30)의 전자 차단 특성에 영향을 미칠 수 있고, 전자와 산소 이온을 포함한 음전하 트랩의 정도가 변할 수 있기 때문이다.
- [0088] 그 결과, 밴드 에지(band edge) 상태의 증가는 전자 차단층(30)의 전자를 차단하는 특성이 향상되는 것과 상관관계가 있다고 볼 수 있을 것이다.
- [0089] 도 11는 본 발명에 따른 마찰전기 발전기에서 전자 차단층의 두께에 따른 출력 전압과 전류를 비교한 그래프에 관한 것이다.
- [0090] 전자 차단층(30)을 가진 마찰전기 발전기(1)의 출력 전압과 전류 특성을 65%의 상대 습도에서 측정한 전자 차단층(30) 두께의 함수를 나타낸 것이다.(단, 전자 차단층(30)은 0%의 산소 분압에서 증착됨)
- [0091] 제2 전극(12)에 증착된 전자 차단층(30)은 광학에서 관찰하게 되면, 전자 차단층(30) 두께에 따라 상이한 색상을 갖는데, 이러한 현상은 전자 차단층(30)의 서로 다른 두께에 의한 간섭 효과 때문이다.
- [0092] 즉, 전자 차단층(30)의 두께가 20nm에서 100nm로 증가함에 따라 출력 전압과 전류는 각각 128V와 3.5 μ A에서 272V와 9.1 μ A로 크게 증가하며, 전자 차단층(30)의 두께가 대략 80~120nm인 경우에 다른 두께에 비하여 출력 전류가 증가하는 것을 확인할 수 있으며, 특히 전자 차단층(30)의 두께가 100nm인 경우에 출력전압과 출력전류가 최대치가 나타나는 것을 확인할 수 있었다.
- [0093] 이는 다양한 두께에서 전자 차단층(30)의 물리적 구조가 어떻게 변하는지를 조사하기 위해 XRD 분석한 결과, 전자 차단층(30)의 두께가 물리적 구조에 영향을 미치지 않고, 비정질 구조가 보존된다. 따라서 전자 차단층(30)의 두께가 증가하면, 산소공공의 상대적인 양의 증가로 인해 전자 차단 특성이 개선된다.
- [0094] 그러나 직렬로 연결된 커패시터의 전체 커패시턴스를 고려하면 전자 차단층(30)의 두께의 증가로 인해 전체 커패시턴스가 감소하며, 이는 발전량 감소를 의미한다.

[0095] 식 (2)

$$C_{tot} \propto \frac{\epsilon_{r,PDMS} \times \epsilon_{r,TiO_2}}{(\epsilon_{r,TiO_2} \times d_{PDMS}) + (\epsilon_{r,PDMS} \times d_{TiO_2})}$$

[0096] 여기서 C_{tot} 는 총 커패시턴스, ϵ_{r,TiO_2} 및 $\epsilon_{r,PDMS}$ 는 각 재료의 상대 유전율이며, d_{TiO_2} 및 d_{PDMS} 는 각 층의 두께이다. 따라서, 전자 차단층(30)의 두께 변화는 전자 차단 특성과 총 커패시턴스 사이의 트레이드 오프 관계를 갖게 된다.

[0097] 도 12는 본 발명에 따른 마찰전기 발전기에서 전자 차단층의 두께에 따른 산소 K-edge XAS 스펙트럼이며, 도 13

는 본 발명에 따른 마찰전기 발전기에서 전자 차단층의 함수로서 상대 분자 궤도비의 상대 비율에 관한 것이다.

[0098] 전자 차단층(30)의 두께에 따른 마찰전기 발전기(1) 출력 성능의 변화를 전자 구조로 이해하기 위해 하이브리드화된 분자 궤도 구조 분석을 한 것으로, 전자 차단층(30)의 두께가 변경됨에 따라 전도대의 상태와 4sp 상태의 비율이 변하게 된다.

[0099] 예를 들어, 상태수가 증가하면 3d 궤도에서 z^2 과 x^2-y^2 의 분자 궤도 대칭성이 향상되어 d-궤도 상태의 균일한 분포가 유도된다.

[0100] d-오비탈 정렬에서의 이러한 변화는 다섯 방향의 3차원 궤도에서 비어있는 상태의 대칭 분포 때문에 전하 이동을 향상시킬 수 있게 된다.

[0101] 4sp 궤도의 상대적 비율의 다른 증가는 방향성 d-궤도와 비교하여 구형 대칭 s-궤도의 향상으로 인한 전하 수송의 증가를 일으킬 수 있는데, 전자 차단층(30)의 두께가 100nm일 때 최적화된 전하 수송이 가능하다.

[0102] 100nm 두께의 전자 차단층(30)일 때, 전하 수송은 전자 차단층(30) 내에서 전자를 쉽게 이동시킬 수 있다. 전자 차단층(30)과 같은 양의 산소 공극이 있어도 전자가 쉽게 이동하기 때문에 산소 공극에 의한 전자의 포획 시간(τT)을 줄이고, 트랩 속도($v T$)를 증가시킬 수 있어, 전자 차단층(30)의 전자 차단 특성이 향상된다.

[0103] 도 14는 본 발명에 따른 마찰전기 발전기에서 전자 차단층의 증착 위치에 따른 출력 변화 비교도에 관한 것이다.

[0104] 전자 차단층(30)의 증착 위치에 따라 출력의 정도를 비교한 그래프에 관한 것으로, Type1은 전자 차단층(30)을 구비하지 않고, 제1 전극(10)과 제2 전극(12) 사이에 마찰층(20)으로 이루어진 발전기이고, Type2는 Type1에서 마찰층(20) 상단에 전자 차단층(30)이 증착된 발전기이다. 마지막으로 Type3은 본 발명에 따른 마찰전기 발전기(1)로 제1 전극(10)과 마찰층(20), 전자 차단층(30) 및 제2 전극(12)이 순차적으로 적층된다.

[0105] 각각의 발전기를 발전시켰을 때, Type3의 발전기가 가장 높은 출력전압과 전류가 흐르는 것을 알 수 있으며, Type1, Type2의 순서대로 출력이 높은 것을 알 수 있다. 즉, 본 발명에 따른 마찰전기 발전기(1)의 출력이 가장 높았으며, Type2의 전자 차단층(30)이 마찰층(20)의 상단에 구비된 발전기의 출력이 가장 낮았다.

[0106] 이는 전자 차단층(30)이 제2 전극(10)과 마찰층(20) 사이에 위치함에 따라 마찰층(20)의 분극을 강화시키고, 마찰층(20)의 전자(40) 이탈을 감소시키는 역할을 하여 마찰전기 발전기(1)의 출력전압과 전류를 상승시키기 때문이다.

[0107] 도 15는 본 발명에 따른 마찰전기 발전기에서 전자 차단층을 구성하는 물질에 따른 출력 변화 비교도를 보여주고 있다.

[0108] 전자 차단층(30)이 없는(W/O EBL) 발전기와 본 발명에 따른 마찰전기 발전기(1) 중 전자 차단층(EBL)(30)을 구성하는 물질이 TiOx, AlOx 및 HfOx로 이루어졌을 때 출력을 비교하여 그래프로 나타낸 것이다.

[0109] 전자 차단층(30)이 없는(W/O TiOx EBL) 발전기의 출력량이 가장 낮았으며, AlOx으로 이루어진 전자 차단층(30)의 마찰전기 발전기(1)의 출력량이 전자 차단층(30)이 없는 발전기의 출력량 보다 근소하게 높은 것을 알 수 있다. 반면에 TiOx와 AlOx로 이루어진 전자 차단층(30)의 발전기의 출력은 매우 높다.

[0110] TiOx와 AlOx로 이루어진 전자 차단층(30)의 발전기의 출력이 높은 이유는 TiOx와 AlOx가 상대적으로 유전율이 높고, 밴드갭(band gap)이 작기 때문이다. 즉, TiOx가 AlOx로 이루어진 전자 차단층(30)의 발전기보다 출력이 높는데, 이는 TiOx가 AlOx보다 유전율이 더 높고, TiOx의 물질의 전자 상태를 나타내는 사이에 전자의 상태가 존재하지 않는 영역인 밴드갭(band gap)이 더 작기 때문이다. 이로 인해 TiOx의 전자 차단층(30)으로 이루어진 마찰전기 발전기(1)의 출력이 가장 크게 나타난다.

[0111] 도 16은 본 발명에 따른 마찰전기 발전기를 제작하는 방법에 대한 순서도에 관한 것이다.

[0112] 마찰전기 발전기(1)를 제작하는 과정은 제1 전극, 제2 전극, 제1 전극과 전기음성도 차이가 나는 재질의 마찰층을 마련하는 단계(S10)와, 제2 전극에 마찰층에 비하여 유전율이 높은 전자 차단층을 증착하는 단계(S20)와, 전자 차단층 위에 마찰층을 결합하는 단계(S30) 및 제1 전극을 마찰층과 소정 간격 이격 배치하고, 제1 전극 및 제2 전극을 전기적으로 연결하는 단계(S40)를 포함한다.

[0113] 제1 전극, 제2 전극, 제1 전극과 전기음성도 차이가 나는 재질의 마찰층을 마련하는 단계(S10)는 판상형으로 이

루어진 금속 재질을 전극층(10)(12)으로 하며, 동일한 크기와 재질로 이루어진 전극층(10)(12)을 기설정된 간격으로 이격되게 위치시킨다. 바람직하게는 $3 \times 3 \text{cm}^2$ 의 크기로, 두께가 $80 \mu\text{m}$ 인 알루미늄 호일을 전극층(10)(12)으로 사용할 수 있다. 그리고 PDMS재질로 형성되며, 제1 전극(10)보다 전기음성도가 더 큰 재질로 이루어진 마찰층(20)을 구비한다.

[0114] 마찰층(20)은 닥터 블레이드(doctor-blade)와 테프론 템플리트(Teflon template)를 몰드로 사용하여 임프린트 리소그래피(SIL) 기술을 통해 제작이 이루어질 수 있다.

[0115] 제작과정을 살펴보면, 마찰층(20)은 베이스 수지와 경화제(Sylgard 184A: Sylgard 184B)를 10:1의 중량비로 혼합하여, 닥터 블레이드 기술에 의해 테프론 주형에 적층하고 80°C 에서 4시간 동안 경화시킨다. 경화된 마찰층(20)을 테프론 몰드에서 조심스럽게 벗겨내면 약 $200 \mu\text{m}$ 두께의 평평한 PDMS로 제작이 완료된다.

[0116] 제2 전극에 마찰층에 비하여 유전율이 높은 전자 차단층(30)을 증착하는 단계 (S20)는 제2 전극(12)에 전자 차단층(30)을 증착하는 것으로, 바람직하게는 무선 주파수 스퍼터링에 의해 전자 차단층(30)을 제2 전극(12)에 증착하게 된다.

[0117] 보다 구체적으로, 제1 전극(10) 및 제2 전극(10)은 상업용 알루미늄 호일로, $3 \times 3 \text{cm}^2$ 의 크기와 $80 \mu\text{m}$ 의 두께로 제작한 다음 에탄올로 세척하고 N_2 가스로 건조시킨다.

[0118] 그 다음 마찰전기 발전기(1)의 제2 전극(12)을 제조하기 위하여 전극층(10)의 일면에 전자 차단층(30)을 증착한다. 이때 제2 전극(12)과 전자 차단층(30)이 증착된 층간에는 어떠한 공극도 갖지 않아야 할 것이며, 전자 차단층(30)이 증착된 제2 전극(12)을 100°C 에서 8시간 동안 경화시킨다.

[0119] 전자 차단층 위에 마찰층을 결합하는 단계(S30)는 제2 전극(12)의 전자 차단층(30)에 마찰층(20)을 부착한다. 마찰층(20)은 10:1의 중량비로 베이스 수지와 경화제를 혼합한 것으로, 닥터 블레이드 기술에 의해 테프론 주형에 적층하고 80°C 에서 4시간 동안 경화시키면, 테프론 몰드에서 약 $200 \mu\text{m}$ 두께의 평평한 마찰층(20)을 얻게 된다.

[0120] 제1 전극을 마찰층과 소정 간격 이격 배치하고, 제1 전극 및 제2 전극을 전기적으로 연결하는 단계(S40)는, 전선 등에 의하여 전기적으로 연결된 상태로 전극층(10)(12)을 이격되게 위치시켜, 제1 전극(10)과 제2 전극(12)이 수직으로 선택적으로 접촉과 분리가 이루어질 수 있도록 배치될 수 있다.

[0121] 제2 전극(12)에 설치된 전자 차단층(30)이 마찰층(20)의 분극을 강화시키고, 마찰층(20) 표면의 전자(40)가 스크린 아웃되는 것을 방지하게 되어, 마찰전기 발전기(1)의 출력이 향상된다.

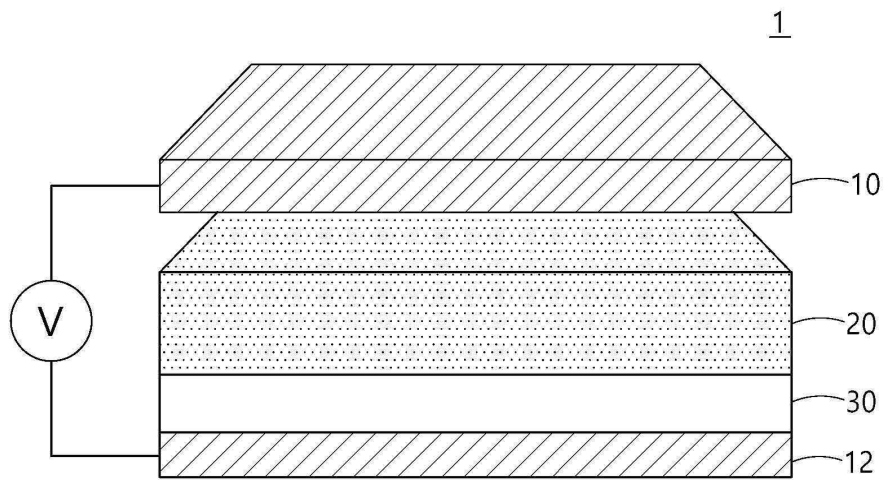
[0122] 이상에서 설명한 본 발명은 전술한 실시예 및 첨부된 도면에 의해 한정되는 것이 아니고, 본 발명의 기술적 사상을 벗어나지 않는 범위 내에서 여러 가지 치환, 변형 및 변경이 가능함은 본 발명이 속하는 기술분야에서 통상의 지식을 가진 자에게 명백할 것이다.

부호의 설명

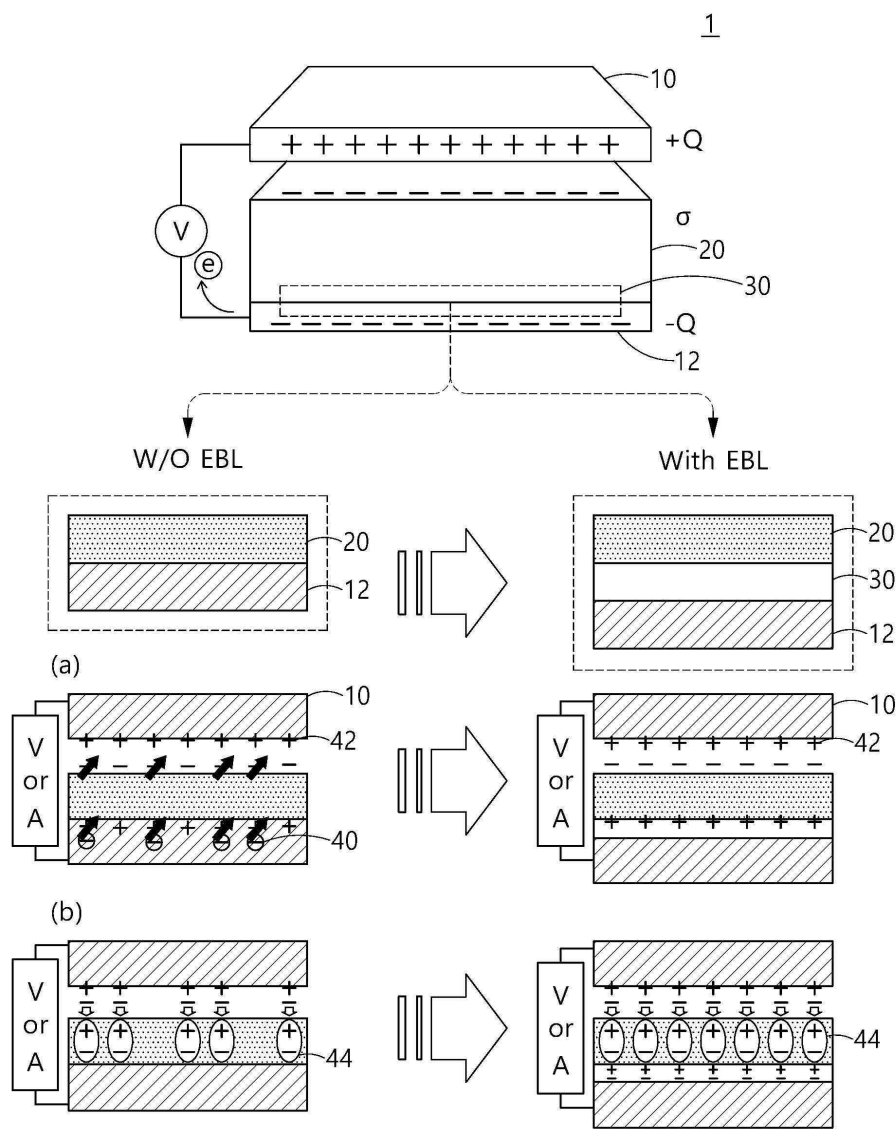
[0123]	1 : 마찰전기 발전기	10 : 제1 전극
	12 : 제2 전극	20 : 마찰층
	30 : 전자 차단층	40 : 전자
	42 : 양전하	44 : 분극

도면

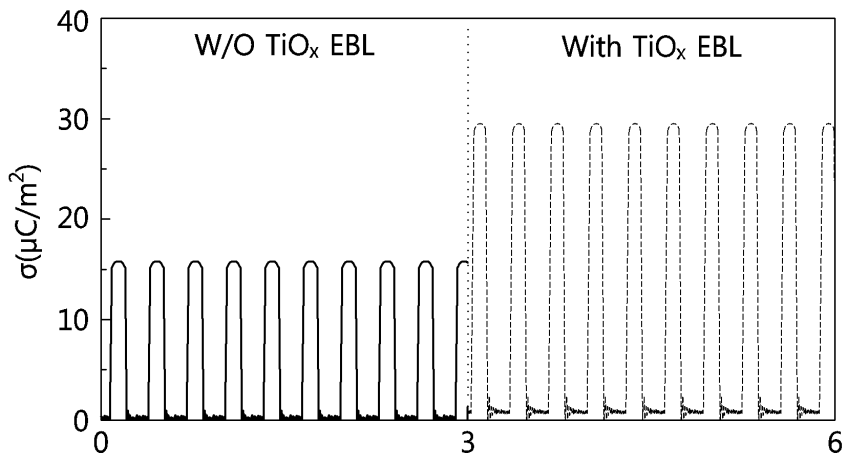
도면1



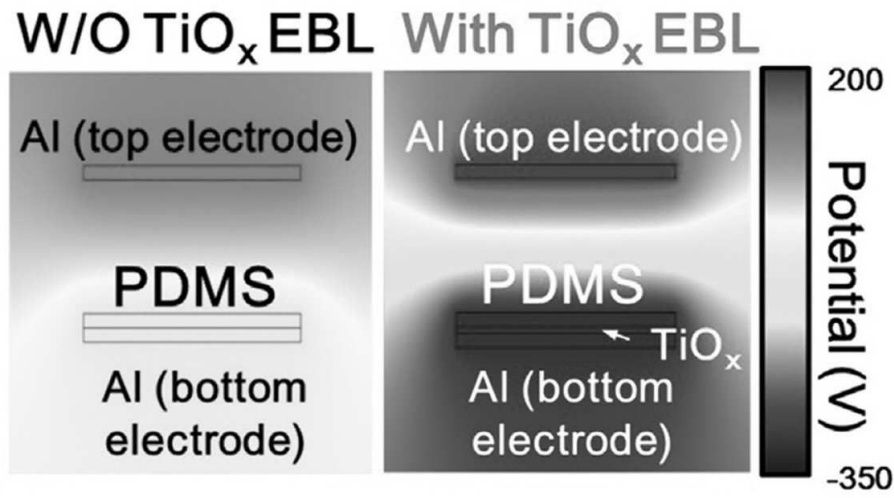
도면2



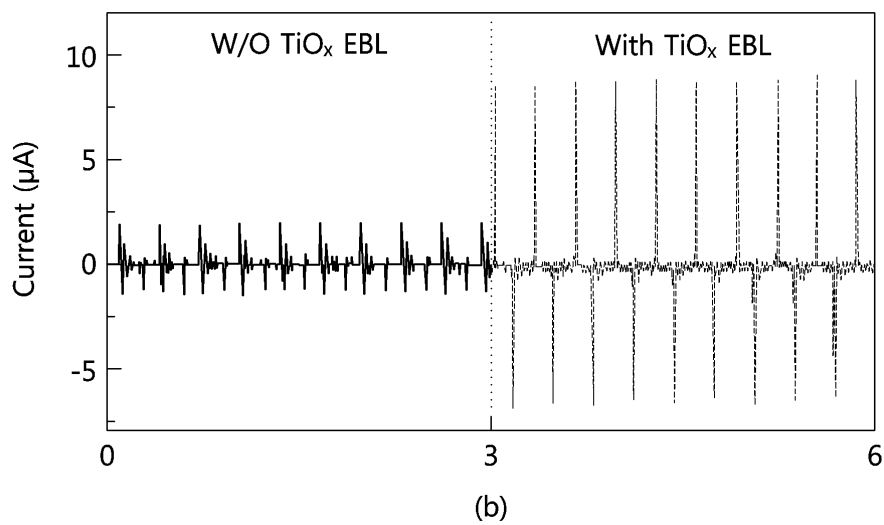
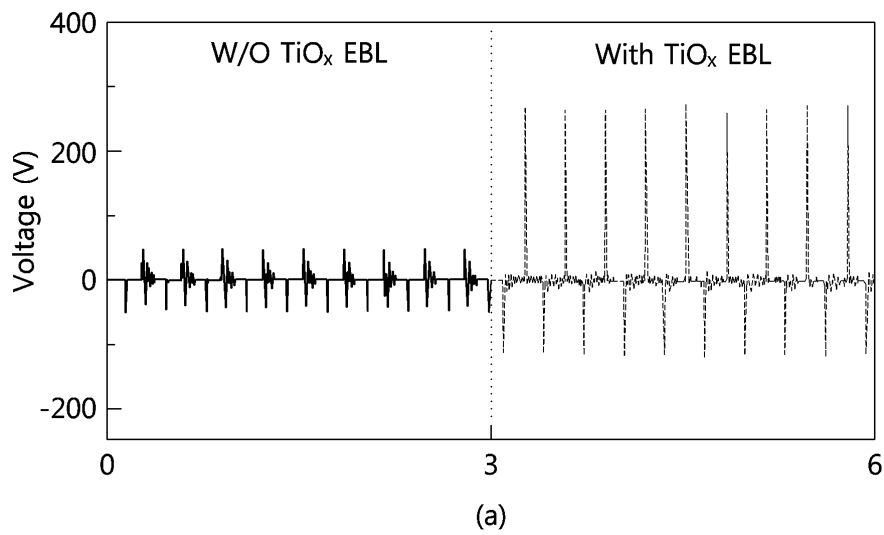
도면3



도면4

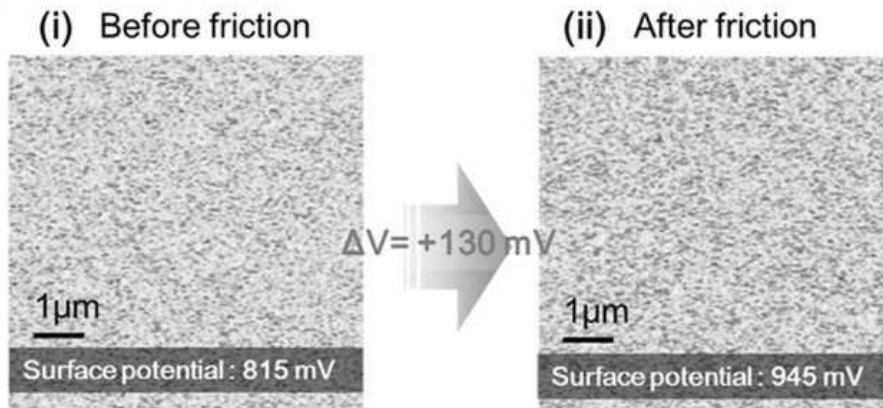


도면5

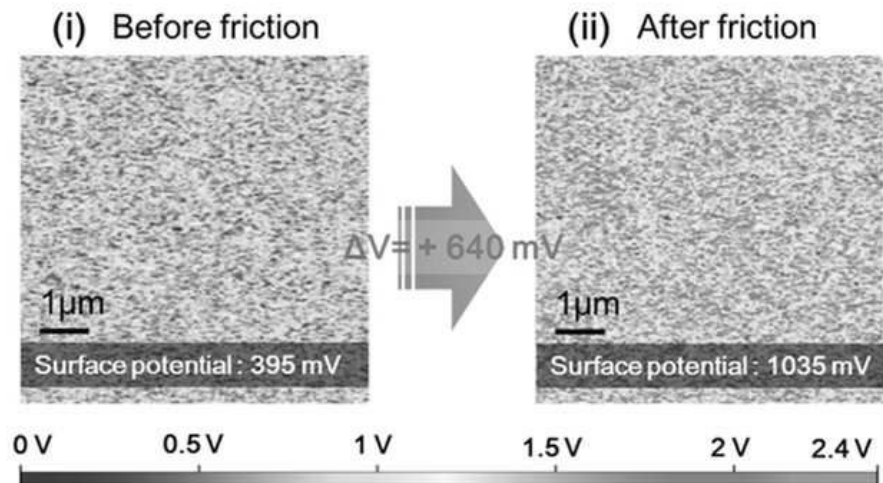


도면6

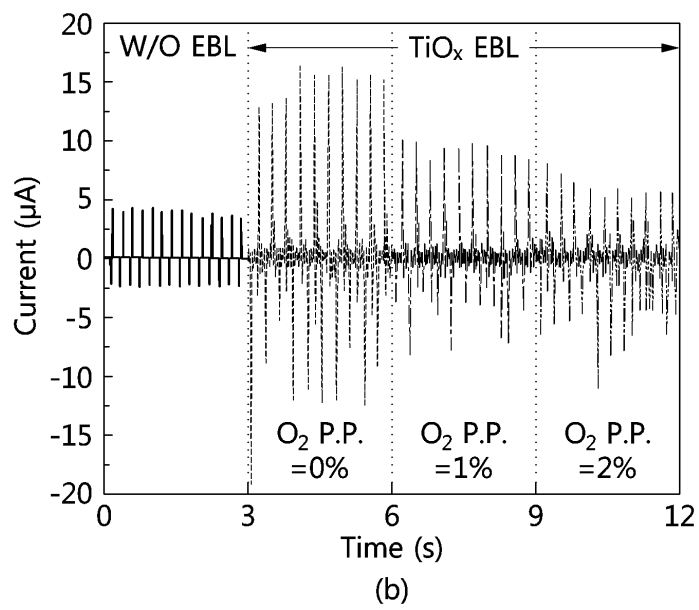
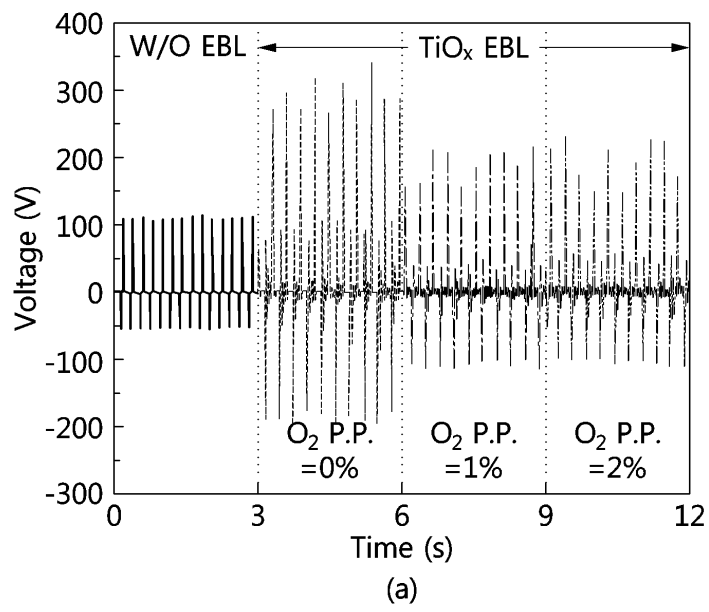
(a)



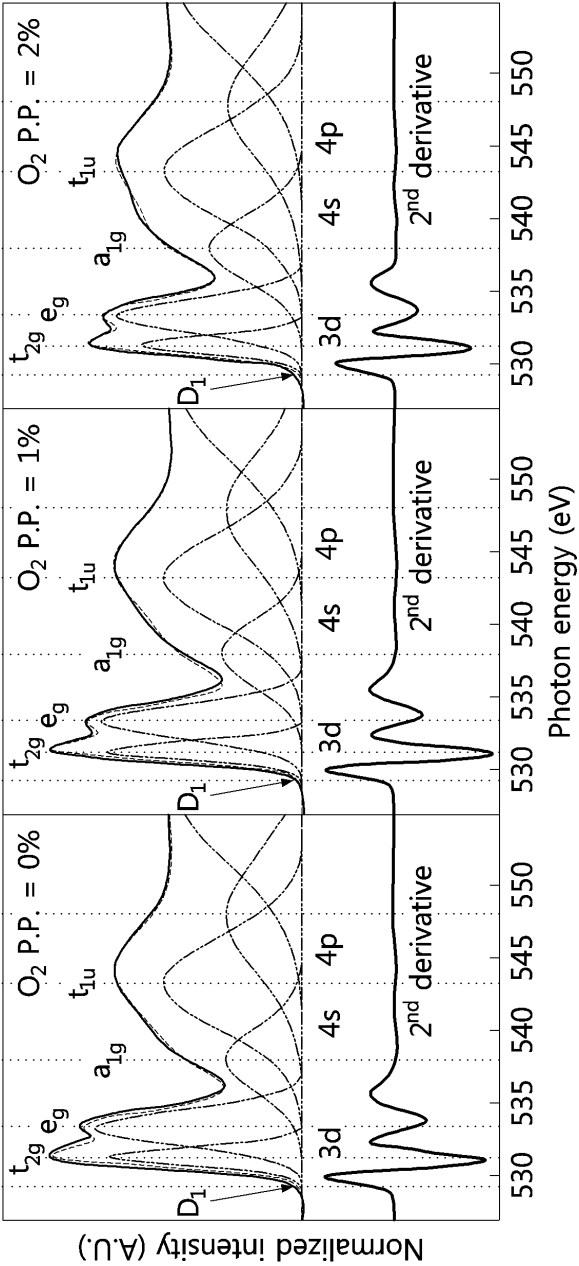
(b)



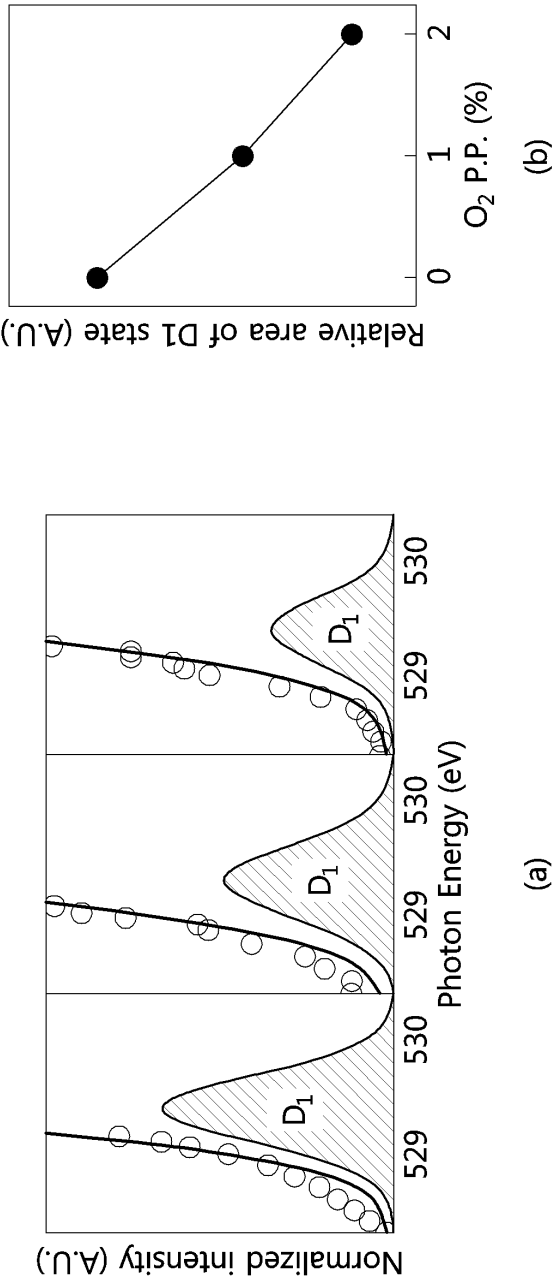
도면7



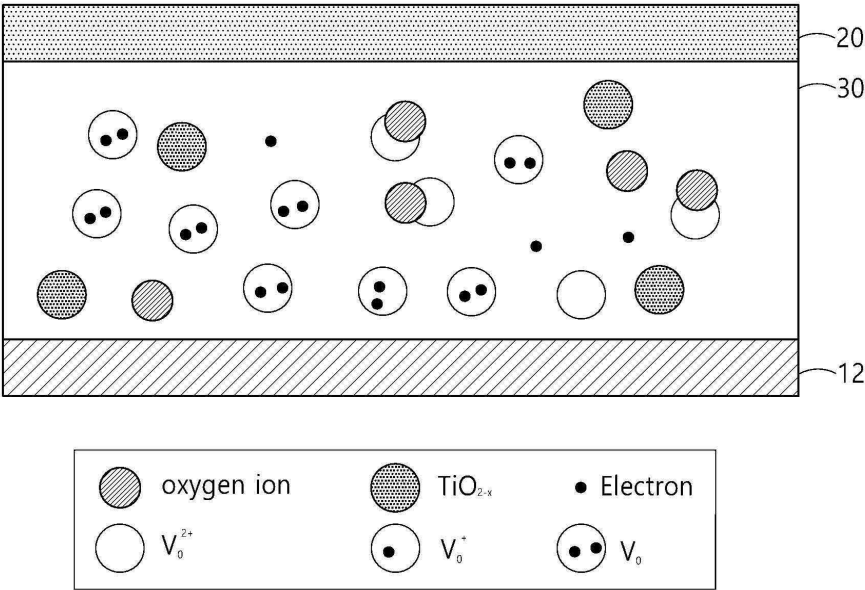
도면8



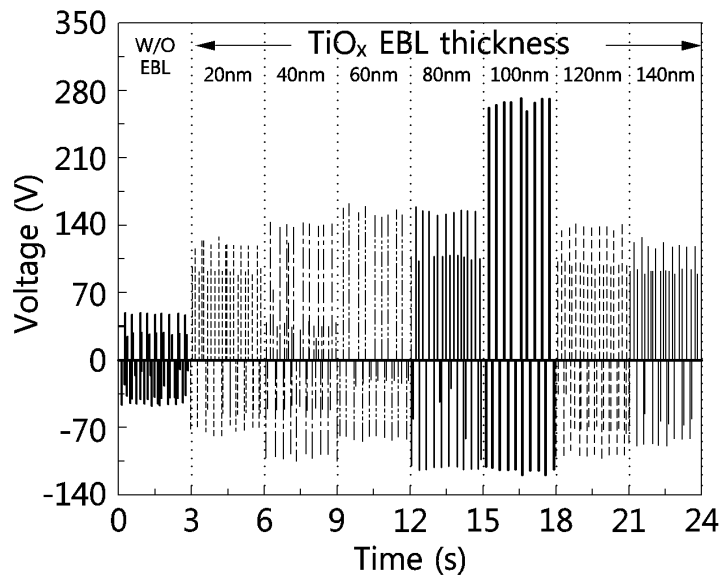
도면9



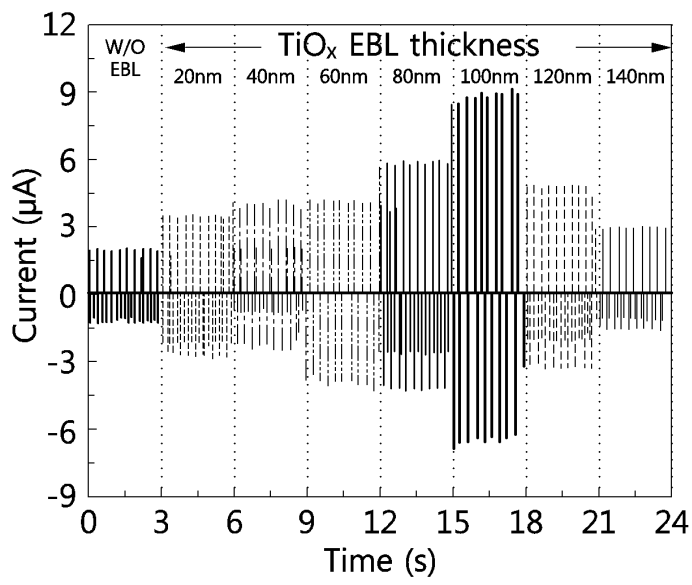
도면10



도면11

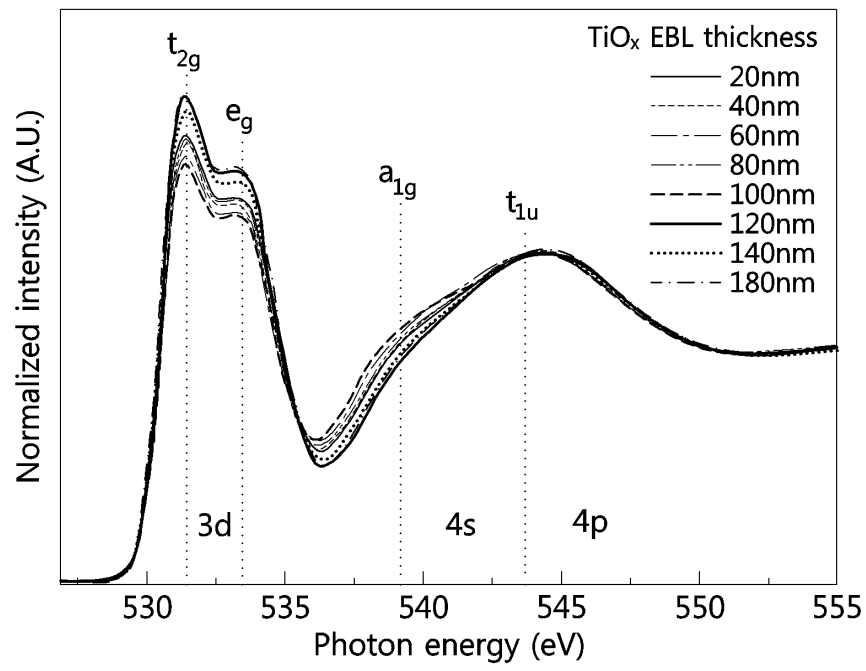


(a)

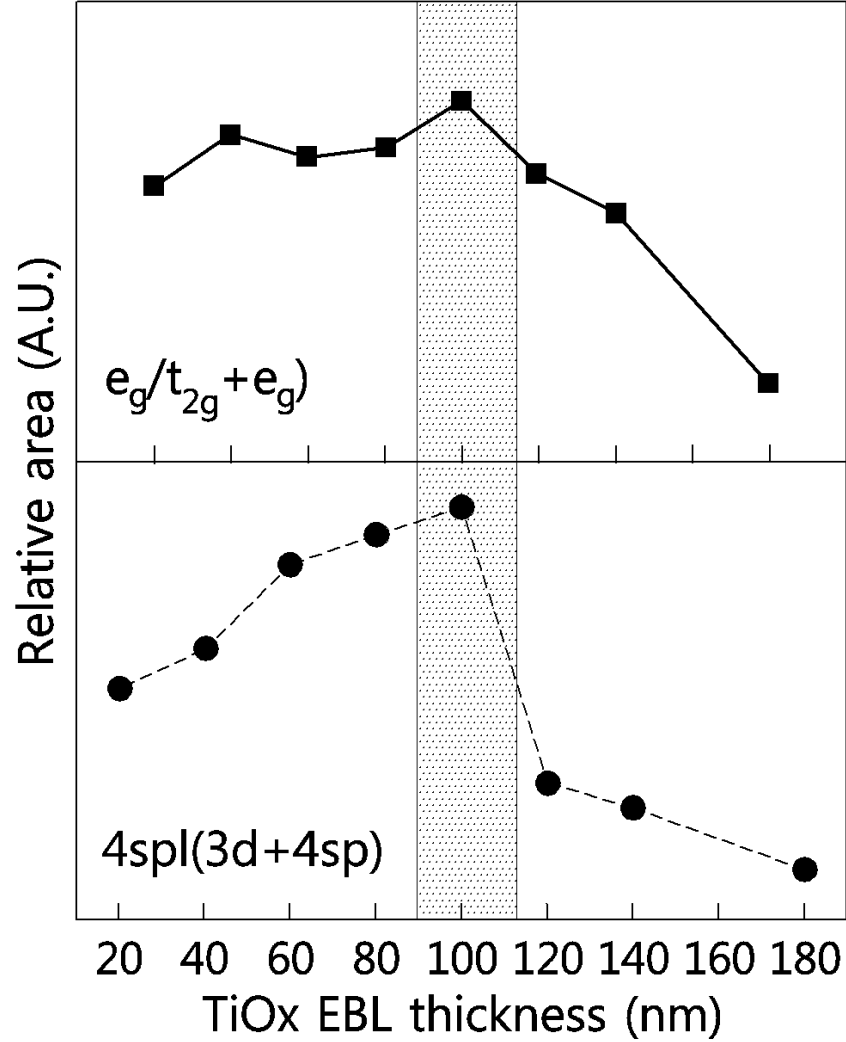


(b)

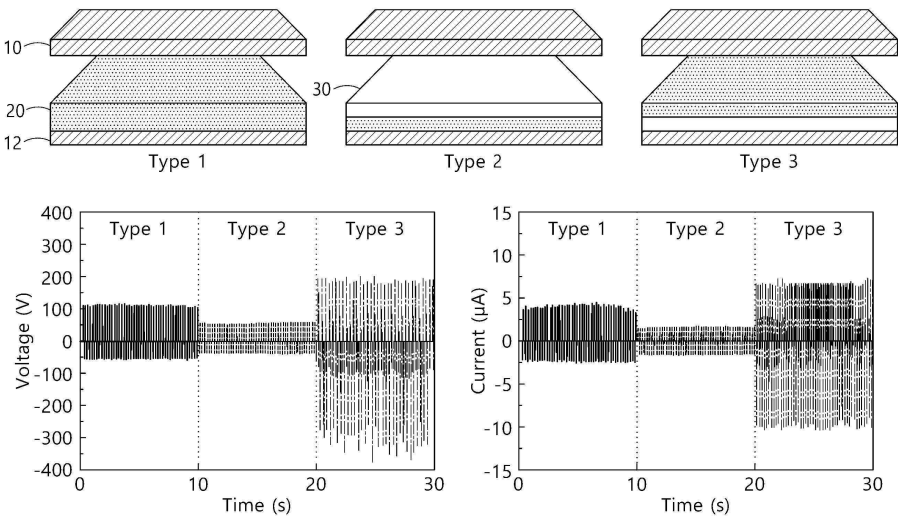
도면12



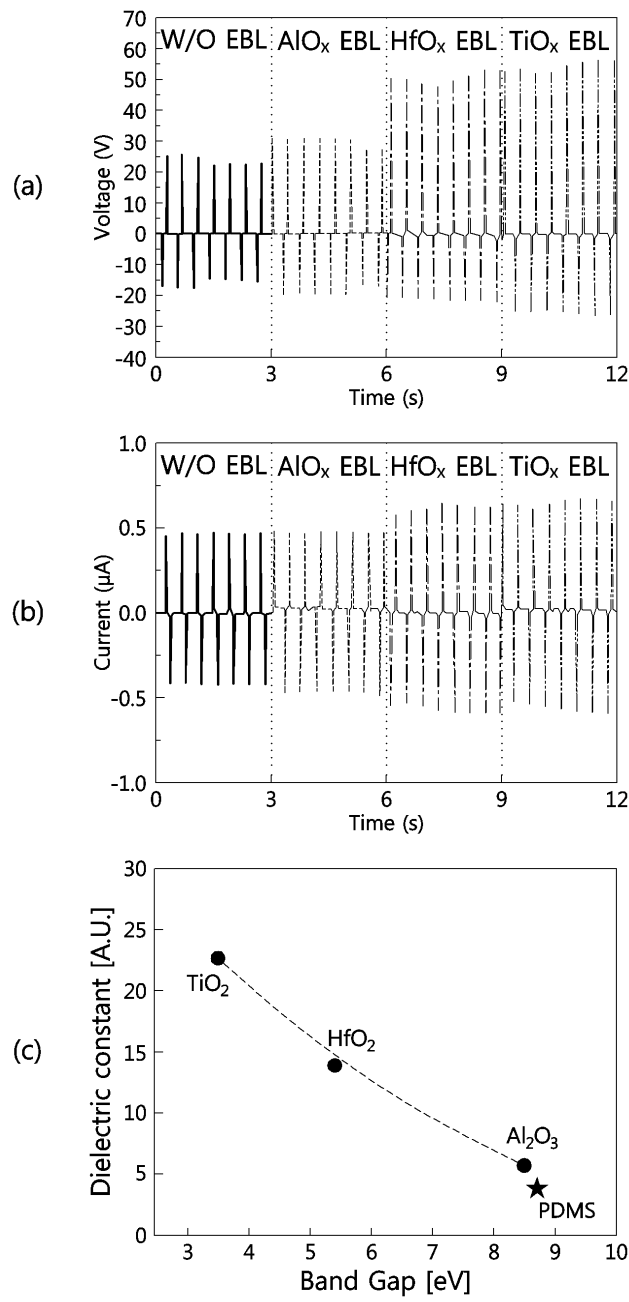
도면13



도면14



도면15



도면16

