(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2018-0020329
(43) 공개일자 2018년02월28일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
H01L 41/187 (2006.01) *H01L 41/047* (2006.01)
H01L 41/193 (2006.01) *H01L 41/27* (2013.01)
H01L 41/314 (2013.01) *H01L 41/316* (2013.01)
H01L 41/317 (2013.01) *H01L 41/39* (2013.01)
(52) CPC특허분류
H01L 41/187 (2013.01)
H01L 41/047 (2013.01)
(21) 출원번호 10-2016-0095351
(22) 출원일자 2016년07월27일
심사청구일자 2016년07월27일

(71) 출원인
고려대학교 산학협력단
서울특별시 성북구 안암로 145, 고려대학교 (안암동5가)
(72) 발명자
김준호
서울특별시 성북구 안암로 145, BK21Plus 창의부품 소재사업단
성태연
서울특별시 서초구 신반포로33길 64, 1동 506호
(74) 대리인
정은열

전체 청구항 수 : 총 15 항

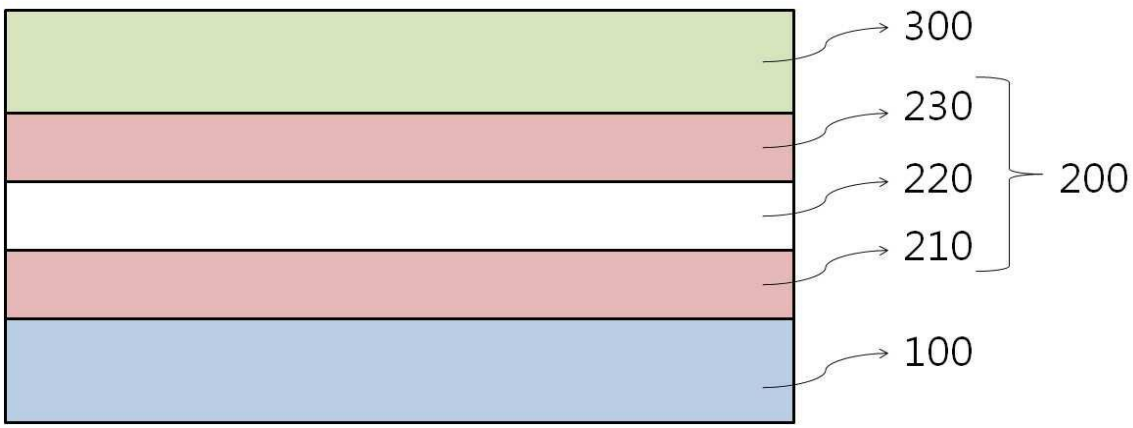
(54) 발명의 명칭 **압전 하베스팅 소자**

(57) 요 약

본 발명은 압전 하베스팅 소자에 관한 것으로서, 더욱 구체적으로는 기판; 금속층, 및 상기 금속층의 상부 및 하부 각각에 하나씩 형성된 한 쌍의 산화물층을 포함하고, 상기 기판의 상부에 배치되는 하부 전극층; 및 상기 하부 전극층 상부에 형성된 상부 전극층을 포함하는 압전 하베스팅 소자에 관한 것이다.

본 발명에 따르면, 기존의 ITO 전극보다 밴딩 특성이 좋은 다층 구조 전극을 사용함으로써, 수직으로 큰 응력(압력)이 가해지는 경우에도 높은 기계적 안정성과 신뢰성을 확보할 수 있고, 지속적으로 큰 전기 에너지를 발생할 수 있으며, 패시베이션 효과를 이용함으로써 더욱 고출력을 나타낼 수 있고, 더 나아가, 다층 전극 위에 나노로드를 바로 성장시킬 수 있기 때문에 고품위의 나노로드 성장이 가능한 압전 하베스팅 소자를 제공할 수 있다.

대 표 도 - 도2a



(52) CPC특허분류
H01L 41/1876 (2013.01)
H01L 41/193 (2013.01)
H01L 41/27 (2013.01)
H01L 41/314 (2013.01)
H01L 41/316 (2013.01)
H01L 41/317 (2013.01)
H01L 41/39 (2013.01)

이 발명을 지원한 국가연구개발사업
과제고유번호 10049601
부처명 산업통상자원부
연구관리전문기관 한국산업기술평가관리원
연구사업명 벤처형전문소재기술개발사업
연구과제명 OLED조명을 위한 flexible 기판용 광추출 효율이 2.0배 향상된 flexible 전도성 광추출 기판 기술 개발
기 여 율 50/100
주관기관 덕산하이메탈(주)
연구기간 2014.06.01 ~ 2017.05.31
이 발명을 지원한 국가연구개발사업
과제고유번호 s2317456
부처명 중소기업청
연구관리전문기관 한국산업기술진흥원(KIAT)
연구사업명 WC300 프로젝트 RandD 기술개발지원사업
연구과제명 자동차용 디자인프리 OLED 조명을 위한 100 lm/W 효율 구현이가능한 일체형 리버스-전사 공정기술 기반의 투명 전도성 광전 복합기판 소재 및 공정 기술 개발
기 여 율 50/100
주관기관 덕산하이메탈(주)
연구기간 2015.07.01 ~ 2018.06.30

명 세 서

청구범위

청구항 1

기판;

금속층, 및 상기 금속층의 상부 및 하부 각각에 하나씩 형성된 한 쌍의 산화물층을 포함하고, 상기 기판의 상부에 배치되는 하부 전극층; 및

상기 하부 전극층 상부에 형성된 상부 전극층을 포함하는 압전 하베스팅 소자.

청구항 2

제1항에 있어서,

상기 금속층은 Ag, Au, Ti, Ni, Mo, Cu, Pt, 및 Al로 이루어진 군으로부터 선택된 하나 이상의 금속으로 이루어진 것을 특징으로 하는 압전 하베스팅 소자.

청구항 3

제1항에 있어서,

상기 산화물층은 Ti-O, Zn-O, Ni-O, Mo-O, V-O, W-O, Mg-O, Si-O, Sn-O, Ta-O, Hf-O, Al-O, Ni-In-O, Zn-In-O, Zn-Si-O, Zn-Al-O, Zn-Mg-O, Cu-In-O, Mo-In-O, Ge-In-O, Si-In-O, Sn-In-O, Mn-In-O, Mg-In-O, Ga-In-O, Al-In-O, B-In-O, V-In-O, In-O-Cl, In-O-F, W-In-O, Ta-In-O, Hf-In-O, Re-In-O, Mg-Sn-O, Ga-Zn-In-O, Sr-V-O, Ca-V-O, 및 Ga-Sn-Zn-In-O로 이루어진 군으로부터 선택된 하나 이상의 산화물로 이루어진 것을 특징으로 하는 압전 하베스팅 소자.

청구항 4

제1항에 있어서,

상기 산화물층은 ZnO 산화물층인 것을 특징으로 하는 압전 하베스팅 소자.

청구항 5

제1항에 있어서,

상기 산화물층은 5 ~ 100 ㎚의 두께를 갖는 것을 특징으로 하는 압전 하베스팅 소자.

청구항 6

제1항에 있어서,

상기 금속층은 5 ~ 50 ㎚의 두께를 갖는 것을 특징으로 하는 압전 하베스팅 소자.

청구항 7

제1항에 있어서,

상기 한 쌍의 산화물층은 각각 서로 다른 산화물층인 것을 특징으로 하는 압전 하베스팅 소자.

청구항 8

제1항에 있어서,

상기 기판은 글라스 (glass), 실리콘 (Si), 폴리에테르술폰 (PES), 폴리에틸렌테레프탈레이트 (PET), 폴리카보네이트 (PC), 폴리이미드 (PI), 및 폴리에틸렌나프탈레이트 (PEN)로 이루어진 군으로부터 선택된 하나 이상의 물질로 이루어진 것을 특징으로 하는 압전 하베스팅 소자.

청구항 9

제1항에 있어서,

상기 하부 전극층의 상부에는 추가적인 압전물질층이 더 적층되는 것을 특징으로 하는 압전 하베스팅 소자.

청구항 10

제9항에 있어서,

상기 추가적인 압전물질층은 Zn-O, Al-N, Ga-N, Zn-Sn-O, Cd-S, In-N, Zn-In-O, Zn-Si-O, Zn-Al-O, Zn-Mg-O, Ga-Zn-In-O, Sr-V-O, Ca-V-O, Ba-Ti-O, Sr-Ti-O, Ca-Ti-O, Pb-Ti-O, Li-Nb-O, Pb-Zr,Ti-O(PZT), Pb-Mg,Nb-O(PMN), Pb-Mg,Ta-O(PMT), Pb-Zn,Nb-O(PZN), Pb-Sc,Ta-O(PST), Pb-La-Zr-Ti-V-O(PLZT), CH3NH3PbBr3, CH3NH3PbI3로 이루어진 군으로부터 선택된 하나 이상의 물질로 이루어진 것을 특징으로 하는 압전 하베스팅 소자.

청구항 11

제9항에 있어서,

상기 추가적인 압전물질층은 ZnO로 이루어진 것을 특징으로 하는 압전 하베스팅 소자.

청구항 12

제11항에 있어서,

상기 ZnO는 ZnO 박막층인 것을 특징으로 하는 압전 하베스팅 소자.

청구항 13

제11항에 있어서,

상기 ZnO로부터 성장된 나노로드가 더 포함되는 것을 특징으로 하는 압전 하베스팅 소자.

청구항 14

제1항에 있어서,

상기 하부 전극층의 상부에는 P3HT/PEDOT:PSS 유기물층이 더 적층되는 것을 특징으로 하는 압전 하베스팅 소자.

청구항 15

제1항에 있어서,

상기 하부 전극층은 스퍼터링법, 무손상 스퍼터링법 (damage-free sputtering), 전자빔 증착법, 롤투롤 (Roll-to-roll) 공정, 또는 연속 증발 증착법에 의해서 적층되는 것을 특징으로 하는 압전 하베스팅 소자.

발명의 설명

기 술 분 야

[0001] 본 발명은 압전 하베스팅 소자에 관한 것이다.

배 경 기 술

[0002] 압전소자 (piezoelectric device)란, 산화아연, PZT와 같은 강유전체 등의 압전물질을 이용한 반도체 소자로서, 기계 에너지와 전기 에너지를 상호변환할 수 있으며, 그 구조가 간단하고 내구성이 좋으며 에너지 변환효율이 높다는 장점을 갖는다. 이러한 압전소자는 압력 및 진동과 같은 기계 에너지가 존재하는 곳이라면 어디에든 활용될 수 있다.

[0003] 최근, 힘, 압력, 진동 등과 같은 주위의 에너지를 사용가능한 전기에너지로 변환해주는 에너지 하베스팅 (energy harvesting) 기술이 신재성 에너지 및 미래 지속가능한 청정 에너지로서 많은 연구가 진행 중에 있으며, 특히 이러한 에너지 하베스팅 기술 중에서도 압전체를 활용한 압전 발전은 에너지 변환 효율이 크고,

소형 및 경량화가 가능하며, 다양한 영역에 응용이 가능하다는 장점으로 인해서 많은 각광을 받고 있다.

[0004] 압전에너지 하베스팅은 자동차의 2차 발전장치, 가정용 발전장치, 의료용 장치의 보조 전원, 착용 가능한(wearable) 전자제품 등에 적용하기 위한 연구가 진행 중에 있으며, 또한 유비쿼터스 센서 네트워크 (USN)의 에너지원으로 검토되고 있다. 이외에도, 인공 심장, 심장 박동기 등 인체에 적용하는 응용이나, 건축 구조물 진단용 센서 전원 등의 소규모 전원, 로봇 등의 차세대 전자장치의 전원으로도 적용하기 위한 연구가 진행 중이다.

[0005] 도 1에는 대표적인 압전 물질인 PMN-PT를 사용하는 에너지 하베스팅 소자가 전기 에너지를 만들어내는 원리를 도시하였다. 도 1을 참조하면, 기계적 에너지를 받지 않은 상태에서 PMN-PT 박막에 존재하는 쌍극자는 폴링(poling)에 의해 소자의 표면에 수직으로 배열되어 있다. 한편, 소자가 응력을 받아 휘어지게 되면 소자의 변형으로 인해 PMN-PT 박막 내부에 압전 전위가 형성되며, 전자는 쌍극자에 의해 만들어진 전위의 균형을 맞추기 위하여 외부 회로를 통해 흐르게 되고, 결과적으로 위쪽 전극에 쌓이게 된다. 한편, 소자에 작용하던 응력이 사라져 다시 처음 상태로 돌아가면 전하 또한 회로를 통해 처음 자리로 되돌아간다. 전체적으로, 소자에 압력이 가해지고 제거되는 반복적인 과정을 통해 양의 전기 신호와 음의 전기 신호가 번갈아 생기게 된다.

[0006] 그러나, 압전 에너지 발전소자는 가해지는 압력이 작은 경우에는 발생하는 전기 에너지가 작다는 문제점이 있다. 또한, 압전 에너지 발전소자는 소자가 구부려지거나 (bending), 진동되는 경우 (vibration)에만 전기적 에너지를 발전시킬 수 있다는 한계가 있다. 특히, 압전 에너지 발전소자에 큰 응력 (압력)이 수직 방향으로 가해지는 경우, 압전 에너지 발전소자를 구성하는 소재 또는 소재와 전극 사이의 계면이 파괴될 수 있어, 압전 에너지 발전소자의 기계적 안정성 및 신뢰성에 문제를 초래하게 된다.

[0007] 관련해서, 압전물질 및 중합체가 혼합된 복합체를 포함하는 압전 에너지 발전 소자가 개시된 바 있으며 (특허문헌 1), 이는 제1 전극층; 상기 제1 전극층과 이격된 제2 전극층; 및 상기 제1 전극층과 상기 제2 전극층 사이에 위치하고, 무기물 압전물질 및 유기물 중합체 매트릭스가 서로 혼합된 복합체인 압전체층을 포함하는 구조를 갖는다. 그러나, 상기 문헌에 사용된 ITO 전극의 경우, 고온 열처리가 필요한 ITO 투명전극을 사용하는 관계로 유연성을 갖는 플렉서블 폴리머 기판을 사용하기 어렵다는 문제점이 있으며, 또한, ITO 투명전극의 경우 주성분인 인듐이 희귀 재료인 관계로 매년 가격이 폭등하고 있는 추세이다.

[0008] 또한, 기존의 압전 전력 발전소자에 사용되는 무기물 n-타입 반도체 압전물질에 유/무기물 p-타입 물질을 증착시키거나 또는 그 반대로 무기물 p-타입 반도체 압전물질에 유/무기물 n-타입 물질을 증착시킴으로써 기존의 전력 발전소자보다 출력값을 상승시켜 소자의 독립적인 구동, 즉 자가 구동 (self-powered)을 가능하게 한 압전 에너지 하베스터가 개시된 바 있으며 (특허문헌 2), 이 역시 하부 전극으로 ITO 전극을 사용하는 바, 전술한 바와 같은 문제점을 갖는다. 따라서 압전소자용 전극이 이러한 문제점을 해결하는 것이 중요한 과제이다.

선행기술문헌

특허문헌

[0009] (특허문헌 0001) 특허문헌 1: 대한민국 등록특허공보 제10-1465346호

(특허문헌 0002) 특허문헌 2: 대한민국 등록특허공보 제10-1261186호

발명의 내용

해결하려는 과제

[0010] 이에, 본 발명에서는, 종래 통상적으로 사용되는 ITO 투명전극 기반의 압전소자 보다 기계적 안정성 및 신뢰성이 우수하고, 또한 지속적으로 더욱 큰 전기 에너지 및 고출력을 발생시킬 수 있는 유무기 다층구조 전극을 포함하는 압전 하베스팅 소자를 제공하고자 한다.

과제의 해결 수단

[0011] 따라서, 본 발명의 상기 과제를 해결하고자,

[0012] 기판;

[0013] 금속층, 및 상기 금속층의 상부 및 하부 각각에 하나씩 형성된 한 쌍의 산화물층을 포함하고, 상기 기판의 상부에 배치되는 하부 전극층; 및

[0014] 상기 하부 전극층 상부에 형성된 상부 전극층을 포함하는 압전 하베스팅 소자를 제공한다.

[0015] 본 발명의 일 구현예에 따르면, 상기 금속층은 Ag, Au, Ti, Ni, Mo, Cu, Pt, 및 Al로 이루어진 군으로부터 선택된 하나 이상의 금속으로 이루어질 수 있다.

[0016] 본 발명의 다른 구현예에 따르면, 상기 산화물층은 Ti-O, Zn-O, Ni-O, Mo-O, V-O, W-O, Mg-O, Si-O, Sn-O, Ta-O, Hf-O, Al-O, Ni-In-O, Zn-In-O, Zn-Si-O, Zn-Al-O, Zn-Mg-O, Cu-In-O, Mo-In-O, Ge-In-O, Si-In-O, Sn-In-O, Mn-In-O, Mg-In-O, Ga-In-O, Al-In-O, B-In-O, V-In-O, In-O-Cl, In-O-F, W-In-O, Ta-In-O, Hf-In-O, Re-In-O, Mg-Sn-O, Ga-Zn-In-O, Sr-V-O, Ca-V-O, 및 Ga-Sn-Zn-In-O로 이루어진 군으로부터 선택된 하나 이상의 산화물로 이루어질 수 있다.

[0017] 본 발명의 또 다른 구현예에 따르면, 상기 산화물층은 ZnO 산화물층일 수 있다.

[0018] 본 발명의 또 다른 구현예에 따르면, 상기 산화물층은 5 ~ 100 ㎚의 두께를 가질 수 있다.

[0019] 본 발명의 또 다른 구현예에 따르면, 상기 금속층은 5 ~ 50 ㎚의 두께를 가질 수 있다.

[0020] 본 발명의 또 다른 구현예에 따르면, 상기 한 쌍의 산화물층은 각각 서로 다른 산화물층일 수 있다

[0021] 본 발명의 또 다른 구현예에 따르면, 상기 기판은 글라스 (glass), 실리콘 (Si), 폴리에테르술폰 (PES), 폴리에틸렌테레프탈레이트 (PET), 폴리카보네이트 (PC), 폴리이미드 (PI), 및 폴리에틸렌나프탈레이트 (PEN)로 이루어진 군으로부터 선택된 하나 이상의 물질로 이루어질 수 있다.

[0022] 본 발명의 또 다른 구현예에 따르면, 상기 하부 전극층의 상부에는 추가적인 압전물질층이 더 적층될 수도 있다.

[0023] 본 발명의 또 다른 구현예에 따르면, 상기 추가적인 압전물질층은 Zn-O, Al-N, Ga-N, Zn-Sn-O, Cd-S, In-N, Zn-In-O, Zn-Si-O, Zn-Al-O, Zn-Mg-O, Ga-Zn-In-O, Sr-V-O, Ca-V-O, Ba-Ti-O, Sr-Ti-O, Ca-Ti-O, Pb-Ti-O, Li-Nb-O, Pb-Zr,Ti-O(PZT), Pb-Mg,Nb-O(PMN), Pb-Mg,Ta-O(PMT), Pb-Zn,Nb-O(PZN), Pb-Sc,Ta-O(PST), Pb-La-Zr-Ti-V-O(PLZT), CH3NH3PbBr3, CH3NH3PbI3로 이루어진 군으로부터 선택된 하나 이상의 물질로 이루어질 수 있다.

[0024] 본 발명의 또 다른 구현예에 따르면, 상기 추가적인 압전물질층은 ZnO로 이루어질 수 있다.

[0025] 본 발명의 또 다른 구현예에 따르면, 상기 ZnO는 ZnO 박막층일 수 있다.

[0026] 본 발명의 또 다른 구현예에 따르면, 상기 ZnO로부터 성장된 나노로드가 더 포함될 수도 있다.

[0027] 본 발명의 또 다른 구현예에 따르면, 상기 하부 전극층의 상부에는 P3HT/PEDOT:PSS 유기물층이 더 적층될 수도 있다.

[0028] 본 발명의 또 다른 구현예에 따르면, 상기 하부 전극층은 스퍼터링법, 무손상 스퍼터링법 (damage-free sputtering), 전자빔 증착법, 롤투롤 (Roll-to-roll) 공정, 또는 연속 증발 증착법에 의해서 적층될 수 있다.

[0029] 본 발명의 특징 및 이점들은 첨부도면에 의거한 다음의 상세한 설명으로 더욱 명백해질 것이다.

[0030] 이에 앞서 본 명세서 및 청구범위에 사용된 용어나 단어는 통상적이고 사전적인 의미로 해석되어서는 아니되며, 발명자가 그 자신의 발명을 가장 최선의 방법으로 설명하기 위해 용어의 개념을 적절하게 정의할 수 있다는 원칙에 입각하여 본 발명의 기술적 사상에 부합하는 의미와 개념으로 해석되어야만 한다.

발명의 효과

[0031] 본 발명에 따르면, 기존의 ITO 전극보다 밴딩 특성이 좋은 다층 구조 전극을 사용함으로써, 수직으로 큰 응력(압력)이 가해지는 경우에도 높은 기계적 안정성과 신뢰성을 확보할 수 있고, 지속적으로 큰 전기 에너지를 발생할 수 있으며, 패시베이션 효과를 이용함으로써 더욱 고출력을 나타낼 수 있고, 더 나아가, 다층 전극 위에 나노로드를 바로 성장시킬 수 있기 때문에 고품위의 나노로드 성장이 가능한 압전 하베스팅 소자를 제공할 수 있다.

도면의 간단한 설명

[0032] 도 1은 종래 PMN-PT를 사용하는 에너지 하베스팅 소자를 이용하여 전기에너지를 생산하는 원리를 도시한 도면이다.

도 2a는 본 발명에 따른 압전소자의 적층구조를 개략적으로 도시한 도면이며, 도 2b는 폴리에틸렌테레프탈레이트 (PET) 기판 상에 금속층으로서 Ag층을, 상기 산화물층의 상부 및 하부에 각각 ZnO층을 적층한 구조에 대한 투과 전자 현미경 (TEM) 사진을 도시한 도면이다.

도 3은 본 발명의 다른 구현예에 따른 압전소자의 적층구조를 개략적으로 도시한 도면이다.

도 4는 본 발명의 또 다른 구현예에 따른 압전소자의 적층구조를 개략적으로 도시한 도면이다.

도 5는 본 발명의 또 다른 구현예에 따른 압전소자의 적층구조를 개략적으로 도시한 도면이다.

도 6은 본 발명에 따른 압전소자에 대해서 실제 실시한 밴딩 실험 사진을 도시한 도면이다.

도 7a 및 7b는 본 발명에 따른 압전소자에 대한 밴딩 특성 그래프 및 기존 ITO 기반 압전소자에 대한 밴딩 특성 그래프를 도시한 그래프이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0033] 이하, 본 발명을 더욱 상세하게 설명하기로 한다.

[0034] 본 발명의 목적, 특정한 장점들 및 신규한 특징들은 첨부된 도면들과 연관되어지는 이하의 상세한 설명과 바람직한 실시예들로부터 더욱 명백해질 것이다. 본 명세서에서 각 도면의 구성요소들에 참조번호를 부가함에 있어서, 동일한 구성 요소들에 한해서는 비록 다른 도면상에 표시되더라도 가능한 한 동일한 번호를 가지도록 하고 있음에 유의하여야 한다. 또한, "제1", "제2" 등의 용어는 하나의 구성요소를 다른 구성요소로부터 구별하기 위해 사용되는 것으로, 구성요소가 상기 용어들에 의해 제한되는 것은 아니다. 이하, 본 발명을 설명함에 있어서, 본 발명의 요지를 불필요하게 흐릴 수 있는 관련된 공지 기술에 대한 상세한 설명은 생략한다.

[0035] 본 발명에서는 종래 통상적인 ITO 투명전극 기반 압전소자의 문제점을 해결하고자 안출된 것으로서, 압전소자에 큰 응력 또는 압력이 수직 방향으로 가해지는 경우 압전소자를 구성하는 소재, 또는 소재와 전극 사이의 계면 파괴현상을 효과적으로 방지함으로써 기계적 안정성 및 신뢰성을 도모하고, 또한 지속적으로 더욱 큰 전기 에너지 및 고출력을 발생시킬 수 있는 유무기 다층구조 전극을 포함하는 압전 하베스팅 소자를 제공하고자 한다.

[0036] 도 2a에는 본 발명에 따른 압전소자의 적층구조를 개략적으로 도시하였다. 도 2a를 참조하면, 본 발명에 따른 압전소자는,

[0037] 기판 (100); 금속층 (220), 및 상기 금속층 (220)의 상부 및 하부 각각에 하나씩 형성된 한 쌍의 산화물층 (210, 230)을 포함하고, 상기 기판 (100)의 상부에 배치되는 하부 전극층 (200); 및 상기 하부 전극층 (200) 상부에 형성된 상부 전극 (300)을 포함한다.

[0038] 즉, 본 발명에 따른 압전소자는 종래 통상적인 압전소자에 있어서 하부 전극층으로 사용되는 ITO 전극층 및 압전 물질층을 하부 전극층 (200)으로 대체한 구성을 갖는 것으로 파악할 수 있다. 이를 통해서, 본 발명에서는 종래 압전소자에서 발생되던 ITO 투명전극과 압전 물질층 사이의 계면 파괴현상을 효과적으로 방지할 수 있으며, 더 나아가 종래 압전소자에 비해서 더 큰 전기 에너지 및 고출력을 발생시키는 것이 가능하다.

[0039] 본 발명에 있어서, 상기 금속층 (220)은 Ag, Au, Ti, Ni, Mo, Cu, Pt, 및 Al로 이루어진 군으로부터 선택된 하나 이상의 금속으로 이루어질 수 있으며, 또한 상기 산화물층 (210, 230)은 Ti-O, Zn-O, Ni-O, Mo-O, V-O, W-O, Mg-O, Si-O, Sn-O, Ta-O, Hf-O, Al-O, Ni-In-O, Zn-In-O, Zn-Si-O, Zn-Al-O, Zn-Mg-O, Cu-In-O, Mo-In-O, Ge-In-O, Si-In-O, Sn-In-O, Mn-In-O, Mg-In-O, Ga-In-O, Al-In-O, B-In-O, V-In-O, In-O-Cl, In-O-F, W-In-O, Ta-In-O, Hf-In-O, Re-In-O, Mg-Sn-O, Ga-Zn-In-O, Sr-V-O, Ca-V-O, 및 Ga-Sn-Zn-In-O로 이루어진 군으로부터 선택된 하나 이상의 산화물로 이루어질 수 있으며, 더욱 바람직하게는 ZnO 산화물층일 수 있으며, 더욱 바람직하게는 우르짜이즈 구조와 페로브스카이트 구조의 산화물일 수 있다.

[0040] 상기 산화물층 (210, 230)의 두께는 각각 5 ~ 100 ㎚일 수 있는 바, 상기 산화물층 (210, 230)의 두께가 5 ㎚ 미만인 경우에는 투과도 및 계면 특성의 문제점이 있고, 100 ㎚를 초과하는 경우에는 유연성의 문제점이 있어서 바람직하지 않다.

[0041] 또한, 상기 금속층 (220)은 5 ~ 50 nm의 두께를 가질 수 있는 바, 상기 금속층 (220)의 두께가 5 nm 미만인 경우에는 전기적 특성의 문제점이 있고, 50 nm를 초과하는 경우에는 다층 구조 투명전극의 투과도 및 유연성에 문제점이 있어서 바람직하지 않다.

[0042] 한편, 상기 금속층 (220)의 하부 및 상부에 각각 적층되는 상기 산화물층 (210, 230)은 서로 동일한 산화물층일 수도 있지만, 경우에 따라서는 각각 서로 다른 산화물층이 적층되는 구성도 가능하다.

[0043] 상기 기판 (100)은 외부에서 가해지는 압력 또는 응력을 고려할 때, 플렉서블 특성을 갖는 기판인 것이 바람직하며, 이에 제한되는 것은 아니지만, 글라스 (glass), 실리콘 (Si), 폴리에테르술폰 (PES), 폴리에틸렌테레프탈레이트 (PET), 폴리카보네이트 (PC), 폴리이미드 (PI), 및 폴리에틸렌나프탈레이트 (PEN)로 이루어진 군으로부터 선택된 하나 이상의 물질로 이루어진 기판을 사용하는 것이 가능하다.

[0044] 예를 들어, 도 2b에는 폴리에틸렌테레프탈레이트 (PET) 기판 상에 금속층으로서 Ag층을, 상기 산화물층의 상부 및 하부에 각각 ZnO층을 적층한 구조에 대한 투과 전자 현미경 (TEM) 사진을 도시하였다.

[0045] 상부 전극층(300)은 도전성 물질로서, Au, Ag, Cu, 그래핀 등으로 이루어진 군으로부터 선택된 하나 이상으로 형성될 수 있는데, 이에 한정되는 것은 아니다.

[0046] 도 3에는 본 발명의 다른 구현예에 따른 압전소자의 적층구조를 개략적으로 도시하였으며, 도 3을 참조하면, 기판 (100) 상에 하부 전극층 (200)이 적층되고, 상기 하부 전극층 (200)의 상부에는 추가적인 압전물질층 (400)이 더 적층된 구조가 도시되어 있다. 이는 본 발명에 따른 압전소자의 압전특성을 더욱 향상시키기 위해서 적층되는 것으로서, 상기 추가적인 압전물질층으로는, Zn-O, Al-N, Ga-N, Zn-Sn-O, Cd-S, In-N, Zn-In-O, Zn-Si-O, Zn-Al-O, Zn-Mg-O, Ga-Zn-In-O, Sr-V-O, Ca-V-O, Ba-Ti-O, Sr-Ti-O, Ca-Ti-O, Pb-Ti-O, Li-Nb-O, Pb-Zr,Ti-O(PZT), Pb-Mg,Nb-O(PMN), Pb-Mg,Ta-O(PMT), Pb-Zn,Nb-O(PZN), Pb-Sc,Ta-O(PST), Pb-La-Zr-Ti-V-O(PLZT), CH3NH3PbBr3, CH3NH3PbI3, 우르짜이츠 구조 및 페로브스카이트 구조로 이루어진 군으로부터 선택된 하나 이상의 물질층이 적층될 수 있다. 또한, 이러한 추가적인 압전물질층 (400)으로서 상기 하부 전극층 (200) 중 상부 산화물층 (230)을 이루는 물질과 동일한 물질 및 구조가 적층되는 것도 가능한 바, 예를 들어 상부 산화물층 (230)이 ZnO층인 경우, 상기 추가적인 압전물질층으로서 ZnO층을 형성하는 것도 가능하다.

[0047] 이러한 추가적인 압전물질층의 형태는 도 3에 도시된 바와 같이 박막층으로서 적층하는 것도 가능하지만, 도 4에 도시된 바와 같이 나노로드 (500)의 형태로 적층하는 것도 가능하다. 이 경우, 상기 나노로드 (500)는 상기 상부 산화물층 (230)으로부터 성장될 수 있다. 종래 나노로드 구조를 포함하는 압전소자의 경우 ITO 전극 등에 나노로드 구조의 성장을 위한 씨드 물질을 도포하고, 이러한 씨드 물질로부터 나노로드 구조를 성장시키는 기술을 통해서 압전소자를 제조하였으나, 본 발명에서는 별도의 씨드 물질을 도포할 필요 없이 상부 산화물층 (230)으로부터 나노로드 구조를 성장시키는 바, 공정이 간편하고, 고품질의 나노로드를 성장시키는 것이 가능하다. 예를 들어, 상부 산화물층 (230)에 ZnO가 적층되는 경우, 상기 ZnO층으로부터 ZnO 나노로드를 성장시키는 것이 가능하다.

[0048] 한편, 본 발명에서는 종래 ZnO 기반의 압전 에너지 하베스팅 소자에서 발생될 수 있는 압전 포텐셜 스크리닝 (piezoelectric potential screening)을 효과적으로 감소시키기 위한 구성을 적용하는 것도 가능하다. 압전 포텐셜 스크리닝이란, 압전물질, 예를 들어 ZnO와 같은 물질이 기계적 변형에 의해서 압전 포텐셜을 생성하는 경우, ZnO에 존재하는 자유 전자들이 생성되는 압전 포텐셜의 일부를 스크리닝하는 현상을 의미한다. 즉, 기계적 변형에 의해서 압전 포텐셜이 생성될 때 생성된 (+) 포텐셜이 ZnO 내부의 자유 전자와 결합하여 포텐셜을 감소시키는 현상을 의미하는 것이다.

[0049] 이에, 본 발명에서는 이러한 압전 포텐셜 스크리닝을 감소시키기 위한 구성으로서, 상기 하부 전극층 (200)의 상부 또는 상부 산화물층 (230)에 ZnO가 적층된 경우에는 P3HT/PEDOT:PSS 유기물층을 더 적층시킬 수도 있다. P3HT/PEDOT:PSS 유기물층은 P3HT로 형성된 물질층에 PEDOT:PSS 유기물층이 적층된 구조이다. 도 5에는 추가적인 P3HT/PEDOT:PSS 유기물층을 포함하는 본 발명에 따른 압전소자의 개략적인 적층구조를 도시하였으며, 도 5를 참조하면, 하부 전극층 (200)의 상부에 P3HT/PEDOT:PSS 유기물층 (600)이 적층되어 있다. 이와 같이, 하부 전극층 (200) 중 상부 산화물층 (230) 상에 P3HT/PEDOT:PSS 유기물층 (600)을 적층시키는 경우, P3HT 물질층과 상부 산화물층 (230)의 계면 근처에 존재하는 홀들이 상부 산화물층 (230) 내로 확산되고, 반대로 상부 산화물층 (230)으로부터의 자유 전자는 P3HT 물질층으로 확산되어 전자와 홀이 조합된 계면 전하 디플리션 구역 (interface charge-depletion zone)을 형성하게 된다. 이러한 현상은 전자-홀 패시베이션 (electron-hole passivation) 효과로 불리우며, 이러한 현상에 의해서 전술한 압전 포텐셜 스크리닝 현상이 감소하게 된다.

[0050] 한편, PEDOT:PSS 유기물층은 정공 추출층으로서의 역할을 수행하며, 동시에 높은 쇼키트 배리어 (hight Schottky barrier)를 형성하는 전자 차단층의 역할을 한다.

[0051] 한편, 종래 압전소자에 통용되는 ITO 또는 FTO의 경우에는 높은 열처리를 통해서 광학적, 전기적 특성을 나타내게 되는 바, 열에 약한 플렉서블 기판을 사용하여 유연성 압전소자를 생산하는데 문제가 있었다. 그러나, 본 발명에 따른 압전소자는 다층 구조의 제조과정에서 열처리가 필요하지 않기 때문에, 전술한 문제점을 극복할 수 있다. 예를 들어, 본 발명에 따른 압전소자에 있어서 상기 하부 전극층 (200)은 스퍼터링법, 무손상 스퍼터링법 (damage-free sputtering), 전자빔 증착법, 롤투롤 (Roll-to-roll) 공정, 또는 연속 증발 증착법과 같은 저온 공정들에 의해서 적층될 수 있다.

[0052] 일반적으로, 압전소자에서 생성되는 전기에너지는 하기 식 (1)과 같이 재료 특성인 전기-기계 결합계수 (κ, electro-mechanical coupling coefficient)에 의해서 결정되는 바, 주어진 진동에서 보다 많은 전기에너지를 생산하기 위해서는 전기-기계 결합계수의 수치가 큰 재료의 개발이 필요하다.

[0053] <식 (1)>

$$u_{\max,\,output} \fallingdotseq -\frac{1}{4}\frac{k^2}{Y}T^2$$

[0054]

[0055] 상기 식에서, u는 생성되는 최대 전기에너지, Y는 재료의 영 률 (Young's modulus), T는 재료에 가해주는 응력의 크기를 나타내며, 재료의 전기-기계 결합계수 (k)는 하기 식(2)와 같이 표현된다.

[0056] <식 (2)>

$$k^2 = \frac{Electrical\ Energy}{Mechanical\ Energy} = \frac{d^2 Y}{\epsilon}$$

[0057]

[0058] 한편, 본 발명에 따른 압전소자는 기존 ITO 기반의 압전소자에 비해서 더욱 큰 응력 (T)를 소자에 가해주는 것이 가능하므로, 기존 압전소자에 비해서 더욱 큰 최대 전기에너지값을 도출해내는 것이 가능하다.

[0059] 도 6에는 본 발명에 따른 압전소자용 다층 투명전극에 대해서 실제 실시한 밴딩 실험 사진을 도시하였으며, 도 7a 및 7b에는 본 발명에 따른 압전소자용 다층 투명전극에 대한 밴딩 특성 그래프 및 기존 ITO 기반 압전소자용 전극에 대한 밴딩 특성 그래프를 도시하였다. 도 7a 및 7b를 참조하면 본 발명에 따른 압전소자용 다층 투명전극은 1000 사이클의 밴딩 이후에도 안정적인 물리적 특성을 나타내었지만, 기존 ITO 기반의 압전소자 전극의 경우에는 10 사이클 미만의 밴딩에도 급격한 물리적 특성의 변화를 나타냄을 알 수 있다.

부호의 설명

[0060] 100: 기판 200: 하부 전극층

210: 하부 산화물층 220: 금속층

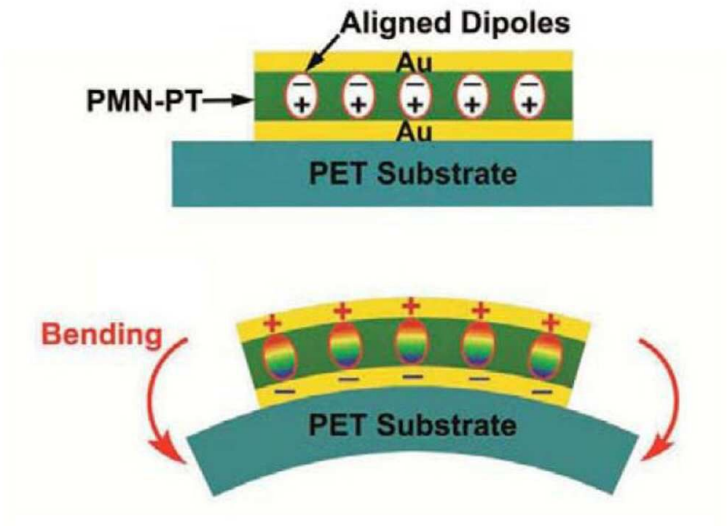
230: 상부 산화물층 300: 상부 전극층

400: 추가적인 압전물질층 500: 나노로드

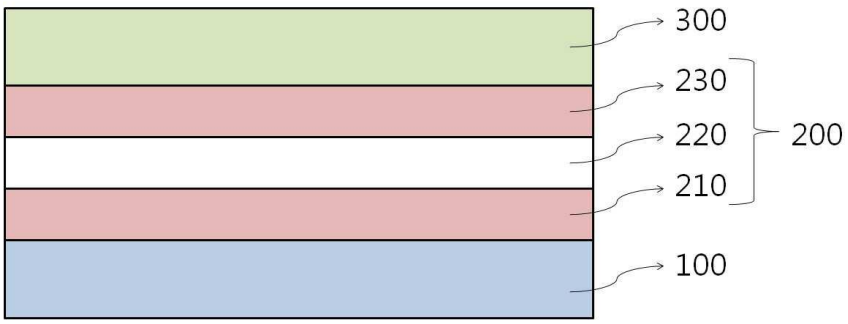
600: PEDOT:PSS 유기물층

도면

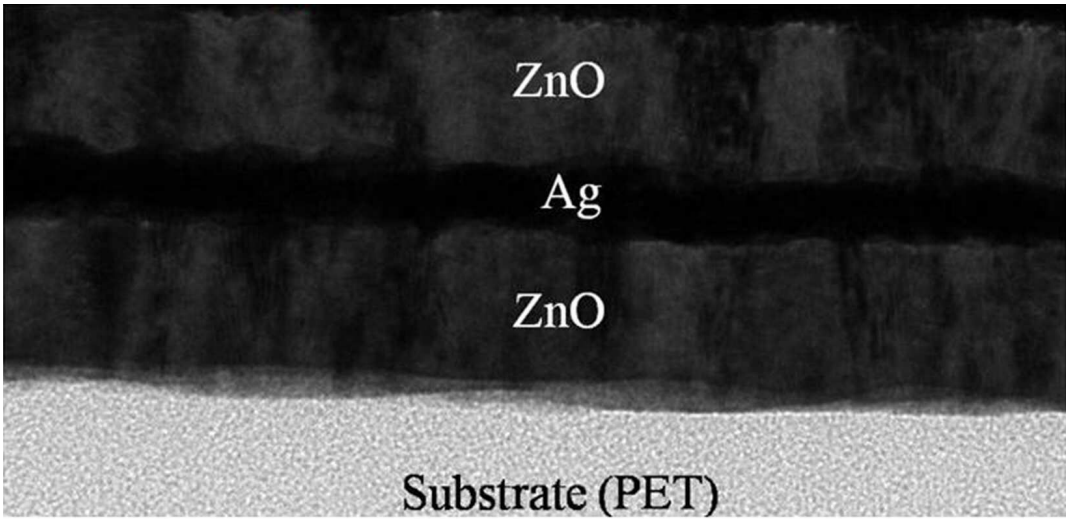
도면1



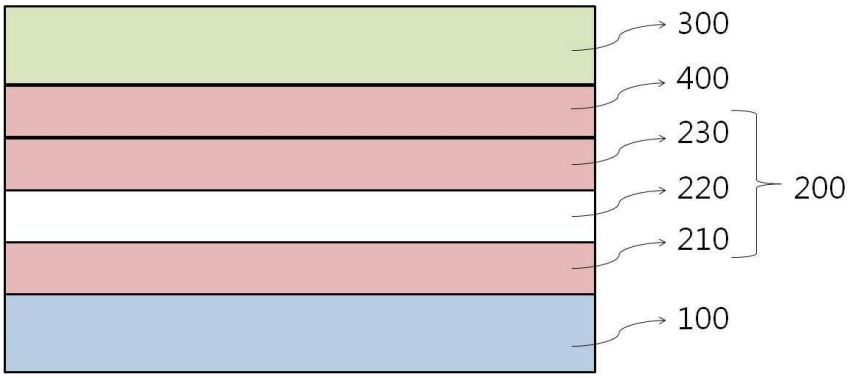
도면2a



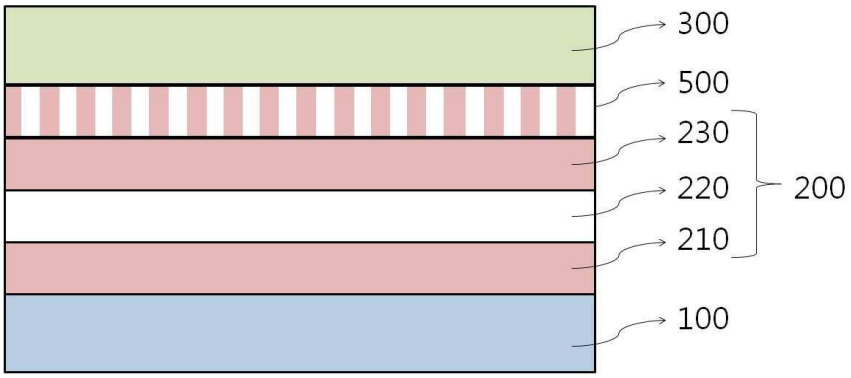
도면2b



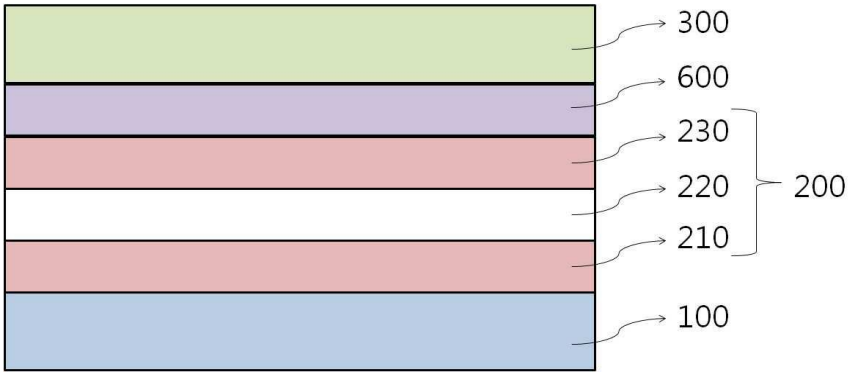
도면3


300
400
230
220
210
200
100

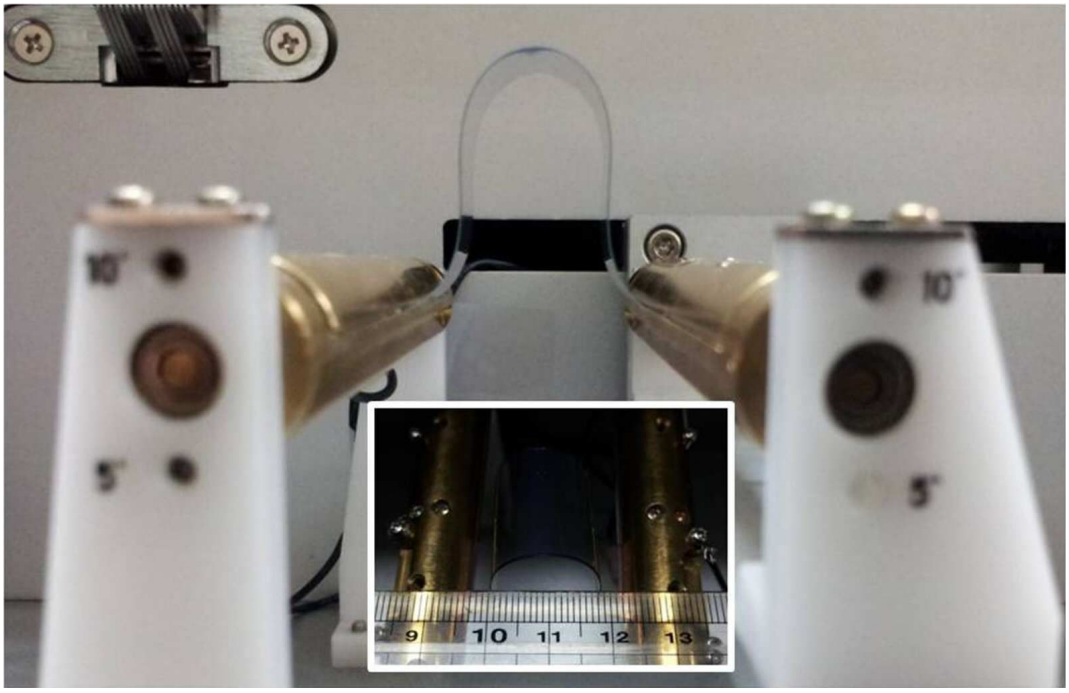
도면4


300
500
230
220
210
200
100

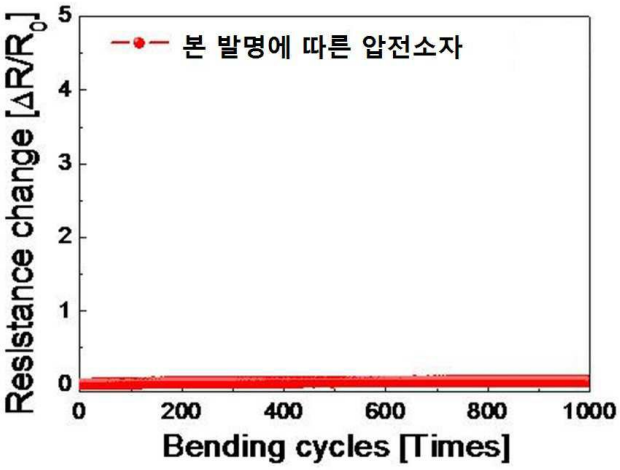
도면5


300
600
230
220
210
200
100

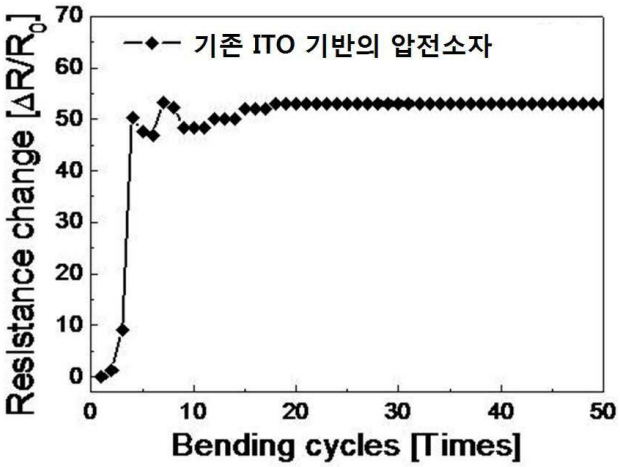
도면6


9
10
11
12
13

도면7a


본 발명에 따른 압전소자
Resistance change [ΔR/R0]
0
1
2
3
4
5
0
200
400
600
800
1000
Bending cycles [Times]

도면7b


기존 ITO 기반의 압전소자
Resistance change [ΔR/R0]
Bending cycles [Times]
0
10
20
30
40
50
60
70