



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2017-0021618
(43) 공개일자 2017년02월28일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)

H01B 5/14 (2006.01) H01B 1/02 (2006.01)
H01B 1/08 (2006.01) H01B 13/00 (2006.01)
H01B 3/30 (2006.01) H01L 31/0224 (2006.01)
H01L 33/42 (2010.01)

(52) CPC특허분류

H01B 5/14 (2013.01)
H01B 1/02 (2013.01)

(21) 출원번호 10-2015-0116226

(22) 출원일자 2015년08월18일

심사청구일자 2015년08월18일

(71) 출원인

고려대학교 산학협력단

서울특별시 성북구 안암로 145, 고려대학교 (안암동5가)

(72) 발명자

김준호

서울특별시 성북구 안암로 145 BK21Plus 창의부품소재사업단

성태연

서울특별시 서초구 신반포로33길 64 1-506호 (잠원동, 잠원한신로얄아파트)

(74) 대리인

정은열

전체 청구항 수 : 총 16 항

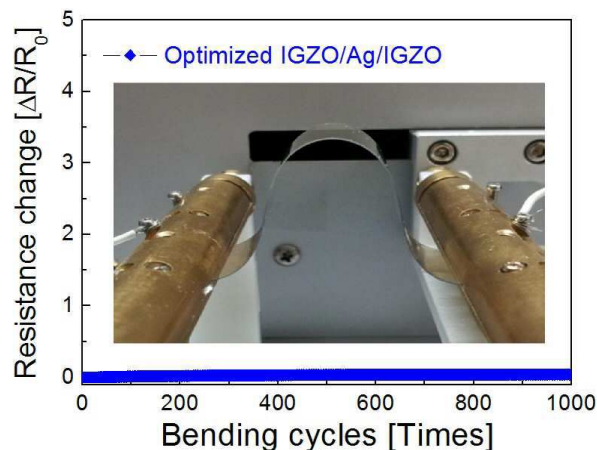
(54) 발명의 명칭 IGZO/Ag/IGZO 다층박막 구조를 갖는 플렉시블 투명 전극 및 그 제조방법

(57) 요약

본 발명은 IGZO/Ag/IGZO 다층박막 구조를 갖는 플렉시블 투명 전극에 관한 것으로서, 더욱 구체적으로는, Ag 금속층; 및 상기 Ag 금속층의 상면 및 하면에 각각 적층된 IGZO층을 포함하는 플렉시블 투명 전극으로서, 상기 Ag 금속층의 두께는 11 nm 내지 25 nm이며, 상기 IGZO층의 두께는 13 nm 내지 70 nm인 것을 특징으로 하는 플렉시블 투명 전극에 관한 것이다.

본 발명에 따르면, 종래 ITO 전극에 비견할 만한 높은 투과도를 지니면서도, 낮은 면저항값을 갖고, 상온 증착 공정에 의해서 제조되어 고온 열처리가 필요 없이 폴리머 기판에 그대로 제조가 가능한 플렉시블 투명전극을 제공할 수 있다.

대표도 - 도1a



(52) CPC특허분류

H01B 1/08 (2013.01)

H01B 13/0026 (2013.01)

H01B 3/30 (2013.01)

H01L 31/022466 (2013.01)

H01L 33/42 (2013.01)

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호 10049601

부처명 산업통상자원부

연구관리전문기관 한국산업기술평가관리원

연구사업명 벤처형전문소재기술개발사업

연구과제명 OLED조명을 위한 flexible 기관용 광추출 효율이 2.0배 향상된 flexible 전도성 광추출 기
관 기술 개발

기 여 율 1/2

주관기관 덕산하이메탈(주)

연구기간 2014.06.01 ~ 2017.05.31이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호 s2317456

부처명 중소기업청

연구관리전문기관 한국산업기술진흥원(KIAT)

연구사업명 WC300 프로젝트 RandD 기술개발지원사업

연구과제명 자동차용 디자인프리 OLED 조명을 위한 100lm/W 효율 구현이 가능한 일체형 리버스-전사
공정기술 기반의 투명 전도성 광전 복합기관 소재 및 공정 기술 개발

기 여 율 1/2

주관기관 덕산하이메탈(주)

연구기간 2015.07.01 ~ 2018.06.30

명세서

청구범위

청구항 1

Ag 금속층; 및

상기 Ag 금속층의 상면 및 하면에 각각 적층된 IGZO층을 포함하는 플렉시블 투명 전극으로서,

상기 Ag 금속층의 두께는 11 nm 내지 25 nm이며,

상기 IGZO층의 두께는 13 nm 내지 70 nm인 것을 특징으로 하는 플렉시블 투명 전극.

청구항 2

제1항에 있어서,

상기 Ag 금속층의 두께는 19 nm이며, 상기 Ag 금속층의 상면 및 하면에 각각 적층된 상기 IGZO층의 두께는 각각 39 nm인 것을 특징으로 하는 플렉시블 투명 전극.

청구항 3

제1항에 있어서,

상기 Ag 금속층의 두께와 상기 IGZO층의 두께는 1:1 내지 1:6.5인 것을 특징으로 하는 플렉시블 투명 전극.

청구항 4

제1항에 있어서,

상기 Ag 금속층의 두께와 상기 IGZO층의 두께는 1:1.5 내지 1:2.5인 것을 특징으로 하는 플렉시블 투명 전극.

청구항 5

제1항에 있어서,

상기 Ag 금속층의 두께와 상기 IGZO층의 두께는 1:2인 것을 특징으로 하는 플렉시블 투명 전극.

청구항 6

제1항에 있어서,

상기 플렉시블 투명 전극은 가시광선 파장대역에서 80% 이상의 광투과도를 갖고, 10 $\Omega/\text{sq.}$ 이하의 면저항값 및 1 이상의 성능 지수 (figure of merit)를 갖는 것을 특징으로 하는 플렉시블 투명 전극.

청구항 7

제1항에 있어서,

상기 Ag 금속층 및 상기 IGZO층은 폴리에테르술폰, 폴리에틸렌테레프탈레이트, 폴리카보네이트, 폴리이미드, 폴리에틸렌나프탈레이트 및 글라스 재질로 이루어진 균으로부터 선택된 유연성 기판 상에 적층된 것을 특징으로 하는 플렉시블 투명 전극.

청구항 8

a) 기판 상에 IGZO층을 13 nm 내지 70 nm의 두께로 형성하는 단계;

b) 상기 IGZO층 상에 Ag 금속층을 11 nm 내지 25 nm의 두께로 형성하는 단계; 및

c) 상기 Ag 금속층 상에 다시 IGZO층을 13 nm 내지 70 nm의 두께로 형성하는 단계를 포함하는 플렉시블 투명 전극의 제조방법.

청구항 9

제8항에 있어서,

상기 Ag 금속층의 두께는 19 nm이며, 상기 Ag 금속층의 상면 및 하면에 각각 적층된 상기 IGZO층의 두께는 각각 39 nm인 것을 특징으로 하는 플렉시블 투명 전극의 제조방법.

청구항 10

제8항에 있어서,

상기 Ag 금속층의 두께와 상기 IGZO층의 두께의 비율은 1:1 내지 1:6.5인 것을 특징으로 하는 플렉시블 투명 전극의 제조방법.

청구항 11

제8항에 있어서,

상기 Ag 금속층의 두께와 상기 IGZO층의 두께의 비율은 1:1.5 내지 1:2.5인 것을 특징으로 하는 플렉시블 투명 전극의 제조방법.

청구항 12

제8항에 있어서,

상기 Ag 금속층의 두께와 상기 IGZO층의 두께의 비율은 1:2인 것을 특징으로 하는 플렉시블 투명 전극의 제조방법.

청구항 13

제8항에 있어서,

상기 a) 내지 c) 단계는 스퍼터링법, 전자빔 증착법 및 연속 증발 증착법으로 이루어진 군으로부터 선택된 어느 하나의 공정에 의해서 수행되는 것을 특징으로 하는 플렉시블 투명 전극의 제조방법.

청구항 14

제8항에 있어서,

상기 a) 내지 c) 단계는 회분식 공정에 의해서 수행되는 것을 특징으로 하는 플렉시블 투명 전극의 제조방법.

청구항 15

제1항 내지 제7항 중 어느 한 항에 따른 플렉시블 투명 전극을 포함하는 태양전지.

청구항 16

제1항 내지 제7항 중 어느 한 항에 따른 플렉시블 투명 전극을 포함하는 발광 다이오드.

발명의 설명

기술 분야

[0001] 본 발명은 IGZO/Ag/IGZO 다층박막 구조를 갖는 플렉시블 투명 전극에 관한 것이다.

배경 기술

[0002] 플렉시블 투명 전극이란, 플렉시블 기판 상에 도전성 패턴을 형성한 전극으로서, 디스플레이, 트랜지스터, 터치 패널, 태양전지 등의 다양한 분야에 유용하게 활용되고 있는 전자소자이다.

[0003] 현재 플렉시블 투명 전극에 가장 널리 활용되는 소재로는 투명 전도성 산화물, 탄소나노튜브, 그래핀 및 고분자 전도체 등이 알려져 있으며, 이러한 소재들 중에서도 투명 전도성 산화물의 일종인 인듐주석 산화물 (Indium Tin Oxide, ITO)은 높은 광투과도 및 전도성을 보유한 관계로 대부분의 투명 전극에 널리 활용되고 있다.

- [0004] 그러나, ITO 전극 소재는 제조과정에서 고온의 열처리 공정을 필요로 하고, ITO의 제조에 사용되는 희소 금속인 인듐의 공급에 한계가 있다는 점, 및 플렉시블 특성의 확보가 어렵다는 점 등으로 인해서, 이를 대체하기 위한 다양한 대체 소재들로서, 전도성 산화물, 탄소나노튜브, 그래핀, 은 나노와이어 및 전도성 폴리머 등에 대한 연구 개발이 활발히 이루어지고 있다.
- [0005] 일 예로서, 전도성 산화물인 ZnO , SnO_2 에 다른 물질들을 도핑시켜 ITO를 대체하기 위한 연구가 진행되고 있으나, 플렉시블 특성이 부족하다는 단점 및 ITO에 비해서 전기적 및 광학적 특성이 열악하다는 단점이 있다. 또한, 상당한 연구가 진행되어 있고 상업적으로도 다양한 분야에 응용가능성이 큰 탄소나노튜브는, 도핑, 정제 및 합성과 관련해서 다양한 개선을 필요로 한다. 더 나아가, 그래핀은 저렴한 비용의 흑연을 이용하여 생산할 수 있으며, 탄소나노튜브보다 표면의 거칠기가 우수하다는 장점을 가지고 있지만, 높은 결정성의 대면적 그래핀 필름을 제조하는데 한계점을 드러내고 있다. 또한, 은 나노와이어는 다른 재료들에 비해 표면 거칠기가 좋지 못하고 헤이즈가 높아서 디스플레이에 응용하기에는 쉽지 않다는 단점이 있다. 마지막으로, 전도성 폴리머는 지난 20년 동안 꾸준히 투명전극으로 사용하기 위한 연구가 상당부분 진행되었지만, 기본적으로 유기 필름이 특유의 색을 갖고 있으며 대기 안정성이 부족하다는 단점이 있다.
- [0006] 한편, ITO에 가장 근접한 특성을 나타내는 물질로서, 산화물/금속/산화물 다층 구조의 투명 전극이 제안된 바 있으며, 이는 고온 열처리가 필요한 ITO 투명 전극에 비해서 열처리 공정을 필요로 하지 않기 때문에 플렉시블 폴리머 기판의 제조에 적용이 가능하고, 공정이 경제적이며, 대면적화가 용이하다는 장점을 갖는다.
- [0007] 관련하여, 실리콘옥시나이트라이드/은/실리콘옥시나이트라이드의 다층 구조를 갖는 다층 투명전극 (특허문헌 1), 제1투명 산화물층/은/제2투명 산화물층의 다층 구조를 갖는 다층 투명전극 (특허문헌 2) 등 다양한 기술들이 공지된 바 있다. 또한, 이러한 산화물/금속/산화물의 다층 구조를 갖는 다층 투명전극들의 층 형성 재료로서, 다양한 물질들의 적용가능성이 시험되고 있으며, 그 중에서도 특히 IGZO/Ag/IGZO 다층 구조의 경우 (IGZO: In-Ga-Zn-O), ITO에 비견할 만큼 높은 투과도를 나타내고, 낮은 면저항값을 가지며, 고온 열처리 과정이 필요 없기 때문에 폴리머 기판에 그대로 적용가능하다는 등 다양한 장점을 갖는다.
- [0008] 따라서, Ag 두께에 따른 IGZO/Ag/IGZO 다층 구조의 특성 연구가 개시된 바 있으며 (비특허문헌 1), Low-e용 산화물 다층박막 IGZO/Ag/IGZO의 구조적, 광학적 특성 분석에 대한 연구 결과 (비특허문헌 2)도 보고된 바 있다.
- [0009] 그러나, 이러한 IGZO/Ag/IGZO 다층 구조를 플렉시블 투명 전극에 성공적으로 적용할 수 있기 위해서는, 다양한 요소들을 고려하여야 하는 바, 충분한 광투과도, 낮은 면저항 수치 및 높은 플렉시블 특성을 구비하여야 하며, 여러 번의 굽힘 테스트에도 이러한 특성들이 유지되어야 한다.

선행기술문헌

특허문헌

- [0010] (특허문헌 0001) 특허문헌 1: 대한민국 공개특허공보 제10-2012-0028506호
(특허문헌 0002) 특허문헌 2: 대한민국 공개특허공보 제10-1996-0035092호

비특허문헌

- [0011] (비특허문헌 0001) 비특허문헌 1: Ag 두께에 따른 IGZO/Ag/IGZO 다층 박막의 특성 연구, J. KIEEME, Vol. 26, No. 7, pp. 510-514, July 2013: Y.-J. Zhang et al.
(비특허문헌 0002) 비특허문헌 2: Low-e용 산화물 다층박막 IGZO/Ag/IGZO의 구조적, 광학적 특성 분석, J. KIEEME, Vol. 26, No. 4, pp. 321-324, April 2013: H. R. Wang et al.

발명의 내용

해결하려는 과제

- [0012] 따라서, 본 발명에서는 IGZO/Ag/IGZO 다층 구조를 플렉시블 투명 전극에 적용하기 위해서 필수적으로 만족하여

야 하는 광투과도, 면저항값 및 유연성 등의 특성들을 종합적으로 만족시키는 IGZO/Ag/IGZO 다층 구조 기반의 플렉시블 투명 전극을 제공하고자 한다.

과제의 해결 수단

- [0013] 본 발명은 상기 과제를 해결하기 위해서,
- [0014] Ag 금속층; 및
- [0015] 상기 Ag 금속층의 상면 및 하면에 각각 적층된 IGZO층을 포함하는 플렉시블 투명 전극으로서,
- [0016] 상기 Ag 금속층의 두께는 11 nm 내지 25 nm이며,
- [0017] 상기 IGZO층의 두께는 13 nm 내지 70 nm인 것을 특징으로 하는 플렉시블 투명 전극을 제공한다.
- [0018] 본 발명의 일 구현예에 따르면, 상기 Ag 금속층의 두께는 19 nm이며, 상기 Ag 금속층의 상면 및 하면에 각각 적층된 상기 IGZO층의 두께는 각각 39 nm일 수 있다.
- [0019] 본 발명의 다른 구현예에 따르면, 상기 Ag 금속층의 두께와 상기 IGZO층의 두께의 비율은 1:1 내지 1:6.5일 수 있다.
- [0020] 본 발명의 또 다른 구현예에 따르면, 상기 Ag 금속층의 두께와 상기 IGZO층의 두께의 비율은 1:1.5 내지 1:2.5일 수 있다.
- [0021] 본 발명의 또 다른 구현예에 따르면, 상기 Ag 금속층의 두께와 상기 IGZO층의 두께의 비율은 1:2일 수 있다.
- [0022] 본 발명의 또 다른 구현예에 따르면, 상기 플렉시블 투명 전극은 가시광선 파장대역에서 80% 이상의 광투과도를 갖고, 10 Ω /sq. 이하의 면저항값 및 1 이상의 성능 지수 (figure of merit)를 가질 수 있다.
- [0023] 본 발명의 또 다른 구현예에 따르면, 상기 Ag 금속층 및 상기 IGZO층은 폴리에테르술폰, 폴리에틸렌테레프탈레이트, 폴리카보네이트, 폴리이미드, 폴리에틸렌나프탈레이트 및 글라스 재질로 이루어진 군으로부터 선택된 유연성 기판 상에 적층될 수 있다.
- [0024] 또한, 본 발명은 상기 과제를 해결하기 위해서,
- [0025] a) 기판 상에 IGZO층을 13 nm 내지 70 nm의 두께로 형성하는 단계;
- [0026] b) 상기 IGZO층 상에 Ag 금속층을 11 nm 내지 25 nm의 두께로 형성하는 단계; 및
- [0027] c) 상기 Ag 금속층 상에 다시 IGZO층을 13 nm 내지 70 nm의 두께로 형성하는 단계를 포함하는 플렉시블 투명 전극의 제조방법을 제공한다.
- [0028] 본 발명의 일 구현예에 따르면, 상기 Ag 금속층의 두께는 19 nm이며, 상기 Ag 금속층의 상면 및 하면에 각각 적층된 상기 IGZO층의 두께는 각각 39 nm일 수 있다.
- [0029] 본 발명의 다른 구현예에 따르면, 상기 Ag 금속층의 두께와 상기 IGZO층의 두께의 비율은 1:1 내지 1:6.5일 수 있다.
- [0030] 본 발명의 또 다른 구현예에 따르면, 상기 Ag 금속층의 두께와 상기 IGZO층의 두께의 비율은 1:2일 수 있다.
- [0031] 본 발명의 또 다른 구현예에 따르면, 상기 a) 내지 c) 단계는 스퍼터링법, 전자빔 증착법 및 연속 증발 증착법으로 이루어진 군으로부터 선택된 어느 하나의 공정에 의해서 수행될 수 있다.
- [0032] 본 발명의 또 다른 구현예에 따르면, 상기 a) 내지 c) 단계는 회분식 공정에 의해서 수행될 수 있다.
- [0033] 또한, 본 발명은 상기 플렉시블 투명 전극을 포함하는 태양전지를 제공한다.
- [0034] 또한, 본 발명은 상기 플렉시블 투명 전극을 포함하는 발광 다이오드를 제공한다.

발명의 효과

- [0035] 본 발명에 따르면, 종래 ITO 전극에 비견할 만한 높은 투과도를 지니면서도, 낮은 면저항값을 갖고, 상온 증착 공정에 의해서 제조되어 고온 열처리가 필요 없이 폴리머 기판에 그대로 제조가 가능한 플렉시블 투명전극을 제공할 수 있다.

도면의 간단한 설명

- [0036] 도 1a 및 1b는 실시예 1에 따른 투명 전극과 (1a), 종래 통상적인 ITO 전극 (1b)에 대한 굽힘 테스트 사진 및 그 결과를 그래프로 도시한 도면이다.
- 도 2a 및 2b는 실시예 1에 따른 샘플들 및 상용 ITO 전극 (두께 100 nm)에 대해서, 폴리머 및 글라스 기판을 베이스로 삼아서 200 nm ~ 1100 nm 범위의 파장에서 각각 투과도를 측정한 결과를 도시한 그래프이다.
- 도 3a 및 3b는 실시예 1에 따른 전극 및 상용 ITO 전극 (두께 100 nm)의 성능 지수를 PET 기판 상에서 산출한 결과와, 실시예 1에 따른 5가지 전극들의 성능 지수를 글라스 기판 상에서 산출한 결과를 도시한 도면이다.
- 도 4는 실시예 1에 따라서 글라스 기판 위에 제조된 샘플 (39 nm IGZO층)의 표면 상태 RMS 조도를 도시한 도면이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

- [0037] 이하, 본 발명을 더욱 상세하게 설명하기로 한다.
- [0038] ITO에 가장 근접한 특성을 나타내는 것으로 알려진 산화물/금속/산화물 다층 구조의 투명 전극에 대해서는 현재까지 많은 연구가 이루어져 있다. 그 중에서도 특히 IGZO/Ag/IGZO 다층 구조의 투명 전극은 광투과도가 우수하고, 면저항값이 낮으며, 제조과정에 고온 열처리를 필요로 하지 않는다는 다양한 장점을 갖는다.
- [0039] 이러한 IGZO/Ag/IGZO 다층 구조의 투명 전극은 대면적화가 용이하며, 대면적화를 위해서는 면저항값을 최소한으로 낮추되, 동시에 광투과도의 저하를 방지해야 하는 필요성이 절실하다. 그러나, IGZO/Ag/IGZO 다층 구조 투명 전극의 잘 알려진 단점 중의 하나는 ITO에 비해서 면저항값은 낮지만, IGZO층과 IGZO층 사이에 개재되는 Ag층으로 인해서 광투과도가 낮아진다는 것이다. 따라서, Ag층의 두께가 두꺼워질수록 면저항값은 낮아지지만, 이와 동시에 광투과도도 낮아진다는 문제점은 종래기술에서 극복되어야 하는 중요한 문제점 중의 하나이다.
- [0040] 이에, 본 발명에서는 전술한 문제점을 해결하고자 연구를 거듭한 결과, IGZO층 및 Ag층의 두께가 소정 범위 내로 조절되는 경우, 또한 IGZO층과 Ag층의 두께 비율이 소정 범위 내로 조절되는 경우에 우수한 면저항 특성 및 광투과 특성을 함께 달성할 수 있다는 사실을 인지하고 본 발명을 완성하게 되었다.
- [0041] 따라서, 본 발명에서는,
- [0042] Ag 금속층; 및
- [0043] 상기 Ag 금속층의 상면 및 하면에 각각 적층된 IGZO층을 포함하는 플렉시블 투명 전극으로서,
- [0044] 상기 Ag 금속층의 두께는 11 nm 내지 25 nm이며,
- [0045] 상기 IGZO층의 두께는 13 nm 내지 70 nm인 것을 특징으로 하는 플렉시블 투명 전극을 제공한다.
- [0046] 본 발명에서는 IGZO/Ag/IGZO 다층 구조 중, Ag 금속층의 두께를 11 nm 내지 25 nm로, IGZO층의 두께를 13 nm 내지 70 nm로 적층하는 경우, 우수한 면저항 특성 및 광투과 특성이 동시에 달성될 수 있으며, 특히, 하기 실시예의 데이터로부터도 알 수 있는 바와 같이, Ag 금속층의 두께를 19 nm로, IGZO층의 두께를 39 nm로 적층하는 경우 최적 특성을 달성할 수 있다는 사실을 밝혔다. 즉, 플렉시블 투명 전극에 요구되는 물리적 유연성, 전기적 특성 및 광특성을 동시에 충족하기 위해서는, Ag 금속층의 두께와 IGZO층의 두께 비율 역시 소정 범위에 존재하여야 하는 바, 이는 1:1 내지 1:6.5 비율의 범위 내에 존재하는 것이 바람직하며, 1:1.5 내지 1:2.5의 범위에 존재하는 것이 더욱 바람직하고, 특히 약 1:2의 비율인 경우 가장 바람직하다.
- [0047] 전술한 두께 범위 및 두께 비율을 만족하는 경우, 본 발명에 따른 플렉시블 투명 전극은 가시광선 파장대역에서 80% 이상의 광투과도를 갖고, 10 Ω /sq. 이하의 면저항값 및 1 이상의 성능 지수 (figure of merit)를 갖게 된다.
- [0048] 본 발명에 따른 IGZO/Ag/IGZO 다층 구조는 폴리에테르술폰, 폴리에틸렌테레프탈레이트, 폴리카보네이트, 폴리이미드, 폴리에틸렌나프탈레이트 및 글라스 재질로 이루어진 균으로부터 선택된 유연성 기판 상에 적층됨으로써 플렉시블 투명 전극으로 제작될 수 있다.
- [0049] 한편, 본 발명은,
- [0050] a) 기판 상에 IGZO층을 13 nm 내지 70 nm의 두께로 형성하는 단계;

- [0051] b) 상기 IGZO층 상에 Ag 금속층을 11 nm 내지 25 nm의 두께로 형성하는 단계; 및
- [0052] c) 상기 Ag 금속층 상에 다시 IGZO층을 13 nm 내지 70 nm의 두께로 형성하는 단계를 포함하는 플렉시블 투명 전극의 제조방법을 제공한다.
- [0053] 본 발명에 따른 방법에 있어서, Ag 금속층 및 IGZO층의 두께, 또한 두 층 사이의 두께 비율은 전술한 바와 같다.
- [0054] 본 발명에 따른 방법에 있어서, Ag 금속층과 IGZO층의 증착은, 이에 제한되는 것은 아니지만, 스퍼터링법, 전자빔 증착법 및 연속 증발 증착법 등과 같은 통상적인 플렉시블 투명 전극 제조방법을 사용하여 수행될 수 있는 바, 기존 ITO 공정과의 호환이 가능하며, 이는 실제 산업적 응용 측면에서 매우 중요한 장점 중의 하나이다. 또한, 상기 a) 내지 c) 단계는 회분식 공정 (batch type process)에 의해서 수행될 수 있다.
- [0055] 본 발명에 따라서 제조된 플렉시블 투명 전극은 우수한 광투과성, 전기 전도성 및 유연성을 요구하는 태양전지, 발광 다이오드 등의 제조에 유용하게 사용될 수 있다. 특히, 본 발명에 따른 플렉시블 투명 전극은 고온 열처리 없이도 대면적의 평탄하고 안정된 표면으로 제작이 가능한 바, 이는 투명 전극 위에 형성되는 유기 물질의 활성층에도 큰 영향을 미치게 되므로, 태양전지 또는 발광 다이오드의 효율을 향상시킬 수 있게 된다.
- [0056] 이하, 실시예를 통해서 본 발명을 더욱 상세하게 설명하기로 하되, 하기 실시예는 본 발명의 이해를 돕기 위한 것일 뿐, 본 발명의 범위를 제한하는 것은 아니다.
- [0057] 실시예 1. 본 발명에 따른 투명 전극의 제조
- [0058] PET 재질의 유연성 기판을 세척하고, 상기 기판 상에 상온에서 rf 스퍼터링 방법을 사용하여 IGZO ($\text{In}_2\text{O}_3:\text{Ga}_2\text{O}_3:\text{ZnO}$; 1:1:1 at%, 99.99% 순도) 박막을 39 nm의 두께로 증착하였다. IGZO 타겟은 고온소결에 의해서 제조된 것을 사용하였다. 타겟에 인가되는 rf 출력은 90 W이었으며, 작업 진공도는 10 mTorr, 타겟과 기판과의 거리는 약 10 cm로 유지하였고, 스퍼터링 가스로는 30 sccm의 Ar 기체를 사용하였다.
- [0059] 이어서, 상기 IGZO 박막 상에 Ag 타겟을 이용하여, rf 출력 30 W, 증착 압력 10 mTorr, Ar 기체 유량 13 sccm의 조건 하에서 Ag층을 19 nm의 두께로 증착하였으며, 전술한 조건과 동일한 조건으로 상기 Ag층 상에 39 nm 두께의 IGZO 박막을 증착하였다. 한편, 동일한 방법에 의해서 투명 전극을 제조하되, IGZO층의 두께를 각각 13, 26, 52 및 65 nm로 달리 적층한 투명 전극을 함께 제조하였다.
- [0060] 평가예 1. 굽힘 테스트
- [0061] 실시예 1에 따라서 제조된 투명 전극과 종래 통상적인 ITO 전극 (두께 100 nm)에 대해서 1000 사이클 동안 굽힘 테스트를 실시하였으며, 사이클 증가에 따른 저항 변화율 ($\Delta R/R_0$: ΔR - 저항 변화값, R_0 - 초기 저항값)을 측정하였다. 도 1a (실시예 1) 및 1b (종래 통상적인 ITO 전극)에는 굽힘 테스트 사진 및 그 결과를 그래프로 도시하였다. 굽힘 테스트는 샘플의 한쪽 면을 고정 장치에 고정시키고, 다른 쪽 면의 거리를 줍힘으로써 수행하였으며, 이러한 과정을 1000회 반복하는 방식에 의해서 수행하였다. 도 1a 및 1b를 참조하면, 종래 통상적인 ITO 전극의 경우 사이클 수가 1000회에 근접함에 따라서 저항 변화율이 1 정도 수준까지 상승하였지만, 실시예 1에 따른 투명 전극의 경우 사이클 수가 증가하여도 저항 변화율이 거의 일정하게 유지되었다.
- [0062] 평가예 2. 저항 측정
- [0063] 실시예 1에서 제조된 5가지 샘플들 및 종래 통상적인 ITO 전극에 대해서 홀 측정 장비 및 4 포인트 면저항 측정 장비를 사용하여, 각각 비저항 및 면저항을 측정하였으며, 그 결과를 하기 표 1에 나타내었다.

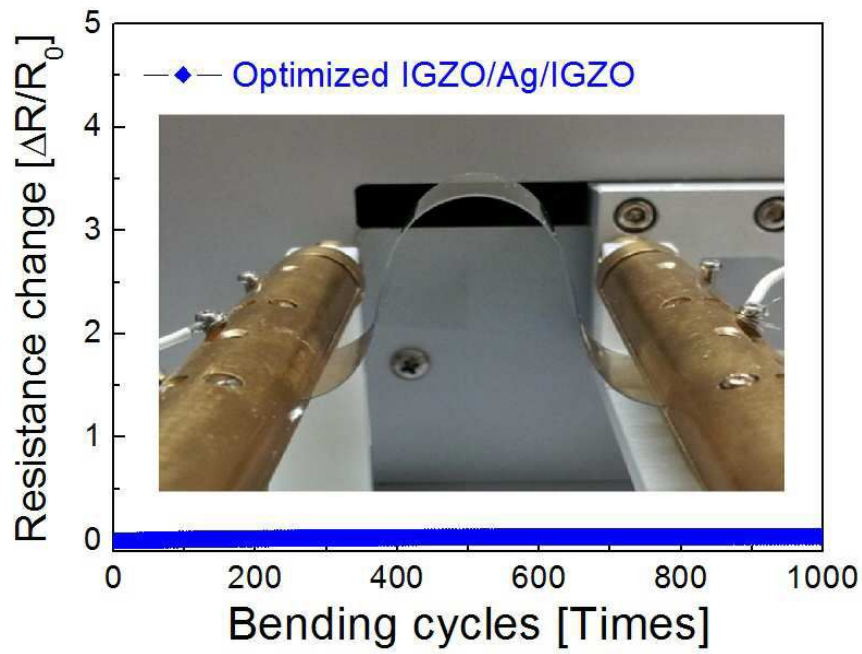
표 1

샘플	캐리어 농도 (cm^{-3})	이동도 ($\text{cm}^2/\text{V}\cdot\text{s}$)	비저항 ($\text{Ohm}\cdot\text{cm}$)	면저항 ($\text{Ohm}/\text{sq.}$)
ITO 전극	1.79E+20	27.18	1.27E-03	134.9
실시예 1 (13 nm)	1.72E+22	19.07	1.89E-05	4.17
실시예 1 (26 nm)	1.04E+22	19.23	3.12E-05	4.39
실시예 1 (39 nm)	7.96E+21	19.22	4.08E-05	4.24
실시예 1 (52 nm)	6.00E+21	19.62	5.29E-05	4.32
실시예 1 (65 nm)	4.98E+21	19.47	6.42E-05	4.32

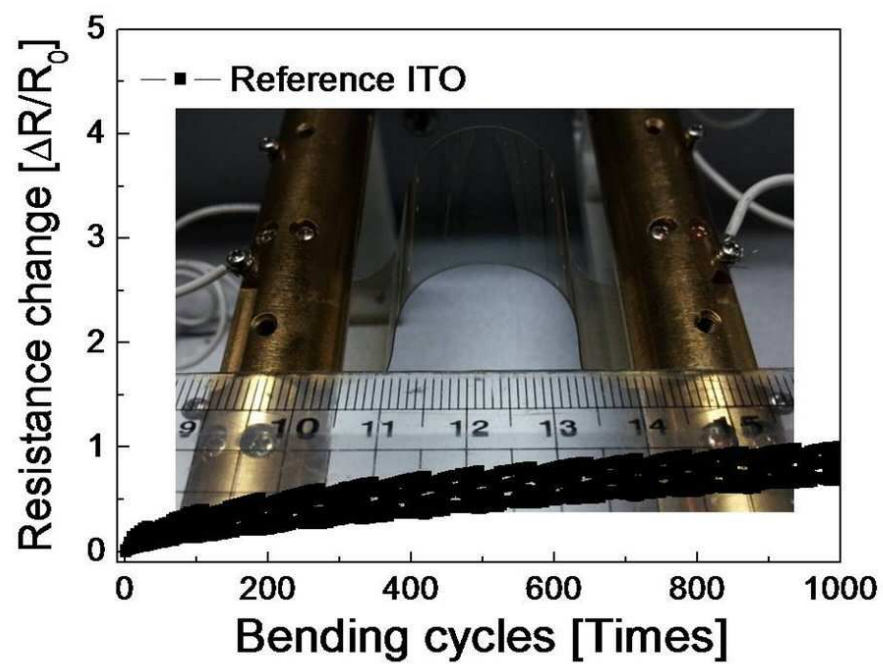
- [0065] 표 1을 참조하면, 실시예 1에 따른 샘플의 비저항값 및 면저항값은 종래 통상적인 ITO 전극 (열처리 전)에 비해서 월등하게 낮은 값을 나타낸다는 사실을 알 수 있다.
- [0066] 평가예 3. 투과도 측정
- [0067] 실시예 1에 따른 샘플들 및 상용 ITO 전극 (두께 100 nm)에 대해서, 폴리머 및 글라스 기판을 베이스로 삼아서 200 nm ~ 1100 nm 범위의 파장에서 각각 투과도를 측정하였으며, 그 결과를 각각 도 2a (39 nm IGZO층 두께를 갖는 실시예 1에 따른 전극 및 상용 ITO 전극을 PET 폴리머 기판 베이스로 측정) 및 도 2b (실시예 1에 따른 5 가지 전극을 글라스 기판 베이스로 측정)에 도시하였다.
- [0068] 도 2a를 참조하면, 실시예 1에 따른 샘플은 가시광선 영역에서는 상용 ITO에 버금가는 투과도를 나타냄을 알 수 있다. 또한, 도 2b를 참조하면, 샘플들의 투과도는 가시광선 영역에서 IGZO층의 두께가 증가할수록 감소하는 경향을 나타냄을 알 수 있다.
- [0069] 평가예 4. 성능 지수 (figure of merit) 산출
- [0070] 평가예 2 및 3에서 알 수 있는 바와 같이, 투명 전극의 경우, 박막의 두께에 따라서 전기 전도도와 광투과도가 서로 상충 관계에 있음을 알 수 있고, 따라서 각 투명 전극의 특성을 비교하기 위해서 Haacke에 의해서 정의된 (Journal of Applied Physics, Volume 47, Issue 9, pp. 4086-4089 (1976) 참조) 성능 지수를 도입하였는 바, 해당 성능 지수 (Φ_{TC})는 하기 식 1과 같이 정의된다:
- [0071] <식 1>
- [0072]
$$\Phi_{TC} = T^{10} / R_{sh}$$
- [0073] 상기 식에서 T는 샘플의 투과도이며, R_{sh} 는 면저항값이다.
- [0074] 따라서, 39 nm IGZO층 두께를 갖는 실시예 1에 따른 전극 및 상용 ITO 전극 (두께 100 nm)의 성능 지수를 PET 기판 상에서 산출한 결과와, 실시예 1에 따른 5가지 전극들의 성능 지수를 글라스 기판 상에서 산출한 결과를 각각 도 3a 및 3b에 도시하였다.
- [0075] 도 3a 및 3b를 참조하면, 실시예 1에 따른 샘플은 상용 ITO 보다도 그 성능 지수 면에서 30 이상 우수한 값을 나타낸다는 것을 알 수 있으며, 더 나아가, 실시예 1에 따른 5가지 샘플들 중에서도, 39 nm IGZO층 두께를 갖는 전극이 가장 우수한 성능 지수를 나타낸다는 사실을 알 수 있다.
- [0076] 한편, 도 4에는 실시예 1에 따라서 글라스 기판 (PET 기판의 경우 PET 기판 자체의 표면 조도가 나빠서 (RMS: 20 nm 이상) 정확한 값을 측정하기 위해서 글라스를 사용하였음) 위에 제조된 샘플 (39 nm IGZO층)의 표면 상태 RMS 조도를 도시하였다. 도 4를 참조하면, 본 발명에 따른 투명 전극은 매우 낮은 RMS 조도값을 갖는 바, 고른 표면을 갖고, 따라서 그 위에 다양한 유기물질이 적층된 이후에도 우수한 특성을 나타낼 수 있다는 점을 파악할 수 있다.

도면

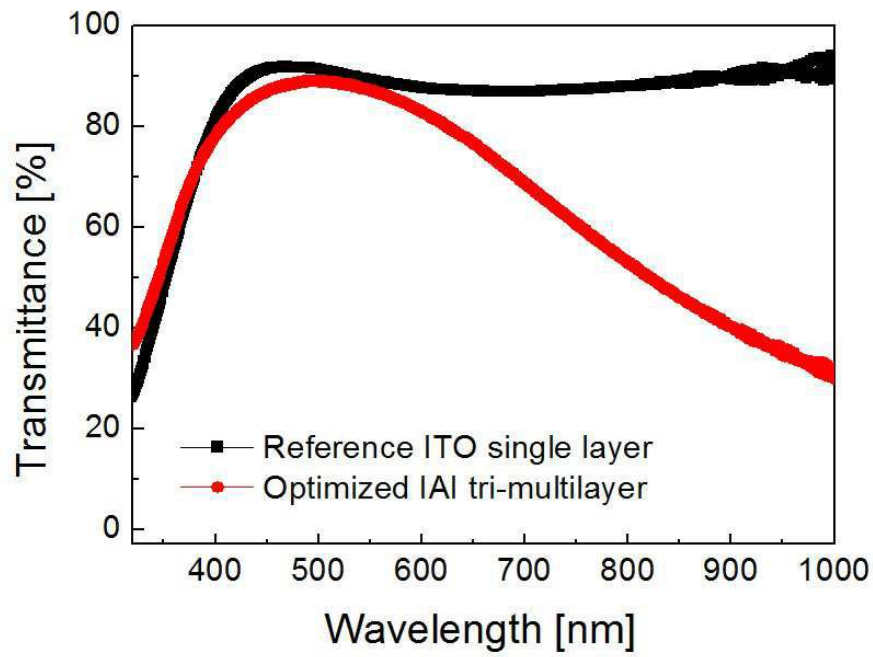
도면1a



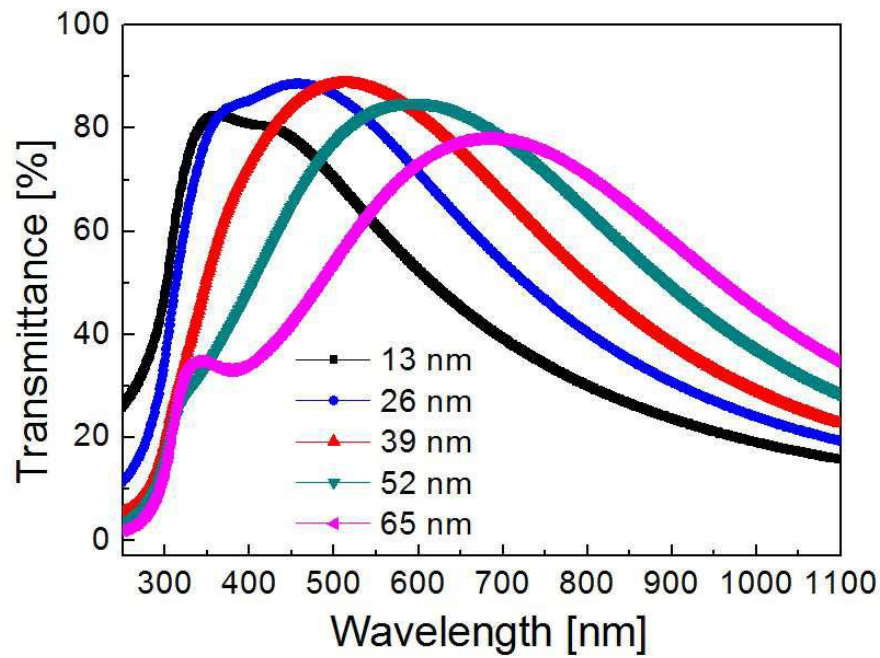
도면1b



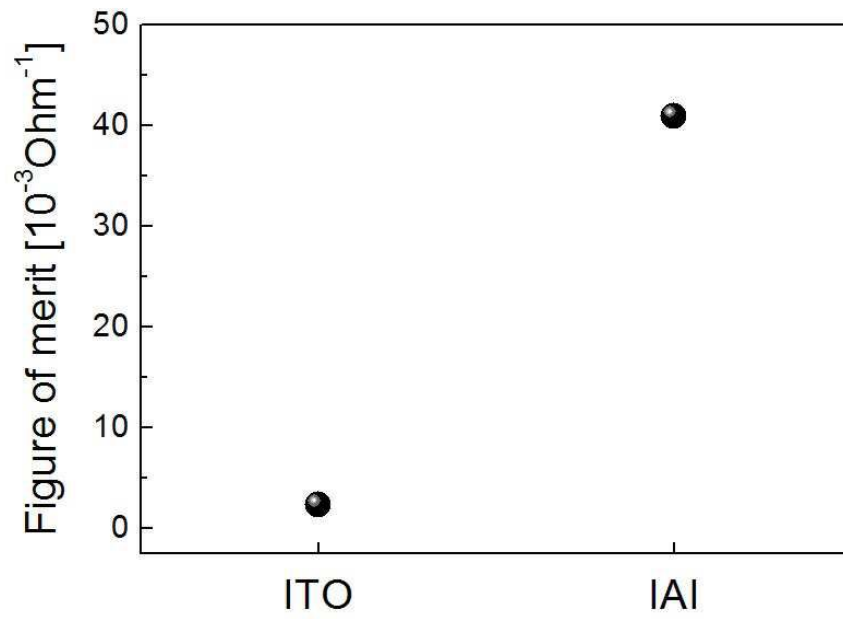
도면2a



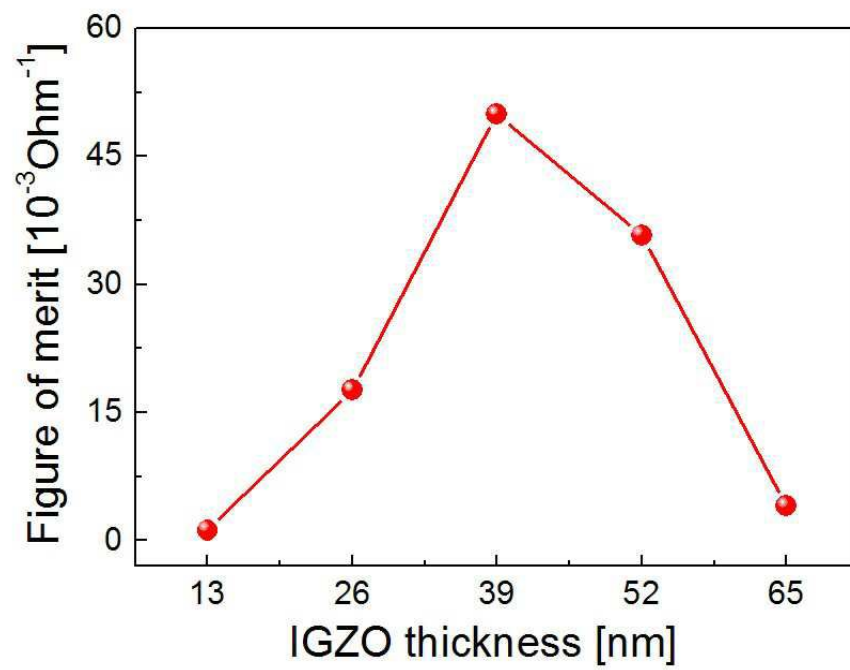
도면2b



도면3a



도면3b



도면4

