



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2013년10월23일
(11) 등록번호 10-1321332
(24) 등록일자 2013년10월02일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)

H01L 51/56 (2006.01)

(21) 출원번호 10-2010-0071649

(22) 출원일자 2010년07월23일

심사청구일자 2010년07월23일

(65) 공개번호 10-2012-0009364

(43) 공개일자 2012년02월01일

(56) 선행기술조사문헌

KR100765728 B1*

KR1020010111056 A*

논문1: 2010년도 대한전기학회 하계학술대회 논문
집 2010. 7. 14 - 16

KR1020090062083 A

*는 심사관에 의하여 인용된 문헌

(73) 특허권자

광운대학교 산학협력단

서울특별시 노원구 광운로 20 (월계동, 광운대학교)

(72) 발명자

최현민

경기도 평택시 진위면 엘지로 222, B동 305호(엘지전자기숙사 매화)

한현석

인천광역시 서구 당하동 1085-6 갑진하이츠-202

홍진용

서울 노원구 상계2동 1282번지 중앙하이츠아파트 203-502

(74) 대리인

고홍열

전체 청구항 수 : 총 2 항

심사관 : 추장희

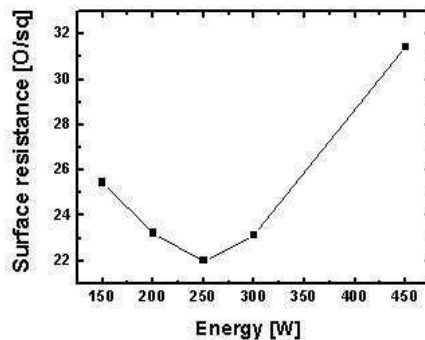
(54) 발명의 명칭 산소 플라즈마를 이용한 ITO 표면처리 방법

(57) 요약

본 발명은 우수한 도전성(Conductivity)과 높은 일함수(Work function) 그리고 뛰어난 투명도(Transparency)를 가지고 있어 디스플레이 산업에서 투명 전극으로 사용되는 인듐 주석 산화물(Indium-Tin-Oxide:ITO)의 표면처리에 관한 것으로서, 더욱 상세하게는 본 발명은 ITO소자의 표면의 계면특성을 향상시킨 종래의 산소 플라즈마 표면처리 방법을 최적화 시킨 산소 플라즈마를 이용한 ITO 표면처리 방법에 관한 것이다.

본 발명에서는 산소 플라즈마를 이용하여 250[W] ~ 300[W]의 에너지에서 10[sec]에서 40[sec]까지 10[sec] 간격으로 처리하고 핫 플레이트에서 30 [min] 베이킹한 후, 상기 플라즈마 처리된 ITO위에 AF는 0.2[Å/s]의 속도로 2.5[nm]의 두께로 5×10^{-6} Torr 정도의 진공도에서 증착하고, Al 음전극은 5×10^{-6} Torr의 진공도에서 텅스텐 보트를 이용하여 초기 10[nm]까지는 0.5 ~ 1.0 [Å/s]로 20[nm]까지는 5 [Å/s]이하로 증착하고, 이후 15 [Å/s] 정도로 가급적 빠르게 두께 100[nm]를 연속적으로 증착하는 것을 특징으로 하는 산소 플라즈마를 이용한 ITO 표면처리 방법이 개시된다.

대표도 - 도1



특허청구의 범위

청구항 1

산소 플라즈마를 이용하여 250[W]의 에너지에서 10[sec]에서 40[sec]까지 10[sec] 간격으로 처리하고 핫 플레이트에서 30 [min] 베이킹한 후, 상기 플라즈마 처리된 ITO위에 썬벌 에바포레이터(Thermal evaporator)를 이용하여 비정질 플루오르화 폴리머 (AF; amorphous fluoropolymer)를 0.2[Å/s]의 속도로 2.5[nm]의 두께로 5×10^{-6} Torr정도의 진공도에서 증착하고, 상기 비정질 플루오르화 폴리머 위에 Al 음전극을 5×10^{-6} Torr의 진공도에서 텅스텐 보트를 이용하여 초기 10[nm]까지는 0.5 ~ 1.0 [Å/s]로 20[nm]까지는 5 [Å/s]이하로 증착하고, 이후 15 [Å/s] 정도의 증착속도로 두께 100[nm]를 연속적으로 증착하는 것을 특징으로 하는 산소 플라즈마를 이용한 ITO 표면처리 방법.

청구항 2

제 1 항에 있어서,

상기 표면처리 방법에 따라 처리된 ITO의 표면 거칠기는 2.0[nm] ~ 2.2[nm]인 것을 특징으로 하는 산소 플라즈마를 이용한 ITO 표면처리 방법.

명세서

기술분야

[0001] 본 발명은 우수한 도전성(Conductivity)과 높은 일함수(Work function) 그리고 뛰어난 투명도(Transparency)를 가지고 있어 디스플레이 산업에서 투명 전극으로 사용되는 인듐 주석 산화물(Indium-Tin-Oxide:ITO)의 표면처리에 관한 것으로서, 더욱 상세하게는 본 발명은 ITO소자의 표면의 계면특성을 향상시킨 종래의 산소 플라즈마 표면처리 방법을 최적화 시킨 산소 플라즈마를 이용한 ITO 표면처리 방법에 관한 것이다.

배경기술

[0002] 일반적으로 유기 광기전 소자나 OLED에서 사용되는 투명전극은 주석산화물, 인듐산화물, 아연산화물 등이 있다. 그 중에서도 ITO는 전기적 특성 및 에칭 특성이 우수하고 광투과도도 우수하다는 장점으로 지금까지 개발된 재료 중에서 가장 많이 사용되고 있다. ITO는 지금까지 투명 전극으로 많이 사용되고 있지만 여러 문제점이 지적되고 있다. 특히 OLED 및 광기전 소자에서 바이어스 인가 및 광전력 인가 시 투명전극과 유기물 계면에서의 계면 특성에 대단히 큰 영향을 미친다는 것이 보고되고 있다

[0003] ITO는 OLED(Organic Light-Emitting Diodes), LED(Light-Emitting Devices), LCD(Liquid Crystal Display), 태양전지(Solar Cell)등 광범위한 분야에 적용되고 있으며, 주로 디스플레이 산업에서 투명전극으로 사용되는 인듐 주석 산화물(ITO)의 표면 개질은 소자의 성능향상에 많은 기여를 하였다. 이전에는 단순히 습식세정(Wet Cleaning)을 이용해 ITO 표면의 유기물질을 제거하는데 그쳤지만 점점 더 그 중요성이 부각됨에 따라 습식세정(Wet Cleaning) 뿐만이 아닌 UV 오존을 이용한 개질, 여러 기체를 이용한 플라즈마 개질 등 다양한 시도를 해왔다. 그 중에서도 산소 플라즈마를 이용한 개질은 ITO 표면의 유기물을 제거하는데 그치지 않고 표면의 거칠기(Roughness)를 평탄화 시키고 화합물의 구성비를 변화시켜 소자의 성능 향상을 가져 왔다.

[0004] 예를 들어, 유기 발광 소자는 일반적으로 두 개의 반대 전극 사이에 박막의 유기물들로 이루어져 있고, 그 효율과 안정성을 높이기 위하여 각기 다른 물질로 구성된 다층의 구조로 이루어져 있다. 통상적인 유기 발광 소자의 다층 구조는 양극으로부터 정공을 주입 받는 정공 주입층(hole injection layer), 정공을 전달하는 정공 수송층(hole transporting layer), 정공과 전자가 결합하는 발광층(emitting layer), 음극을 포함한다. 선택적으로 소자의 효율과 수명을 더욱 향상시키기 위하여 상기 층들을 혼합 물질로 구성하거나 추가적인 역할을 하는 층들을 도입할 수 있다. 또한, 소자의 제작을 간단히 하기 위하여 여러 가지의 기능을 동시에 갖는 물질을 사용하여

사용되는 층의 수를 줄일 수도 있다.

- [0005] 유기 발광 소자에서 발광된 빛을 외부로 발산하기 위하여 기관의 한쪽 전극은 가시광선에 대하여 흡수가 적은 투명한 물질을 사용하게 되는데, 이 투명 전극 물질로 바로 ITO(Indium Tin Oxide)가 일반적으로 사용되며, 이 물질은 정공을 주입하는 양극으로 사용된다.
- [0006] 유기 발광 소자의 원리는 다음과 같다. 일 함수가 높은 양극과 낮은 음극에서 발생된 각각의 정공과 전자가 정공 주입 층/정공 수송층 및 전자 주입층을 통하여 발광층에 주입되면, 발광층 내에 엑시톤(Exciton)이 생성되며, 이 엑시톤이 소멸될 때 그 에너지에 해당하는 빛을 발생하게 된다.
- [0007] 유기 발광 소자의 효율(efficiency), 수명, 구동 전압 및 발광색에 대한 연구가 활발하게 이루어지고 있다. 특히, 효율 및 수명의 경우 유기 발광 물질과 전극 사이의 계면 상에서의 전자 주입이 가장 큰 영향을 주기 때문에 계면 특성을 향상시키는 것에 대한 연구가 집중되고 있다.
- [0008] ITO 기관은 표면 상태에 따라 ITO 표면의 일함수(Work function)와 정공수송층의 표면 일함수와의 접합계면에서 표면 전위 차가 발생하게 되고 여기에 기인하여 소자의 발광개시전압에서 수 V의 차이가 생기게 된다. 또한 기관 표면의 유기물질과 수분 흡착, 모폴로지(Morphology) 그리고 ITO 스퍼터링시 O/In의 비율에 따라 ITO 표면의 일함수는 큰 변화가 나타난다.
- [0009] 정공수송층(Hole Transporting Layer)과 접합되는 ITO의 표면을 물리적, 화학적으로 안정한 상태로 유지하기 위한 전처리 기술로는 평행 평판형 방전을 이용한 ITO 표면산화법, 진공상태에서 UV 자외선을 이용하여 생성된 오존을 통해 ITO 표면을 산화하는 방법, UV-ozone-HCl과 같은 습식처리를 혼용하는 방법, 산소, 아르곤, CF₄/O₂가스를 공급 하면서 챔버 내에 진공을 유지하여 RF 발생기에 의해 플라즈마를 발생시켜 ITO 표면을 개질시키는 방법 등 여러 가지가 있다. 위와 같은 전처리는 공통적으로 ITO 표면의 산소이탈을 방지하고 수분 및 유기물의 잔류를 최대한 억제하는 효과가 있다.

발명의 내용

해결하려는 과제

- [0010] 삭제
- [0011] 본 발명자들은 산소 플라즈마를 이용하여 전류밀도 등 ITO 소자의 표면의 계면특성을 향상시키는 최적화된 ITO 표면처리 방법을 제공하는 것을 본 발명의 해결과제로 한다.

과제의 해결 수단

- [0012] 상기한 과제를 해결한 본 발명의 ITO 표면 플라즈마 처리 방법은 산소 플라즈마를 이용하여 250[W]의 에너지에서 10[sec]에서 60[sec]까지 10[sec] 간격으로 처리하고 핫 플레이트에서 30 [min] 베이킹한 후, 상기 플라즈마 처리된 ITO위에 AF는 0.2[Å/s]의 속도로 2.5[nm]의 두께로 5 x 10⁻⁶Torr정도의 진공도에서 증착하고, Al 음전극은 5×10⁻⁶Torr의 진공도에서 텅스텐 보트를 이용하여 초기 10[nm]까지는 0.5 ~ 1.0 [Å/s]로 20[nm]까지는 5 [Å/s]이하로 증착하고, 이후 15 [Å/s] 정도로 가급적 빠르게 두께 100[nm]를 연속적으로 증착하는 것을 특징으로 한다.
- [0013] 여기서, 상기 표면처리 방법에 따라 처리된 ITO의 표면 거칠기는 2.0[nm] ~ 2.2[nm]인 것을 특징으로 한다.

발명의 효과

- [0014] 본 발명에 따른 산소 플라즈마를 이용한 ITO 표면처리 방법은 ITO 소자의 표면의 계면특성을 향상시켜주어 양극에서의 정공주입을 향상, morphology의 향상, joule열의 감소 등으로 OLED 및 광기전 소자에서 lifetime 및 효

율특성 등 계면 특성 개질에 높은 효과를 가진다.

도면의 간단한 설명

- [0015] 도 1은 본 발명의 일실시예에 따른 산소 플라즈마 에너지 따른 ITO 표면저항을 도시한 그래프이다.
- 도 2a 내지 2d는 본 발명의 일실시예에 따른 ITO 표면의 AFM 사진이다.
- 도 3은 본 발명의 일실시예에 따른 시간 변화에 따른 ITO 표면저항값을 도시한 그래프이다.
- 도 4a 내지 4d는 본 발명의 ITO 플라즈마 표면 처리에 따른 주파수 상승에 따라 변화된 저항 성분을 도시한 그래프이다.
- 도 5는 본 발명의 ITO의 산소 플라즈마 표면 처리에 따른 I-V 특성을 도시한 그래프이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

- [0016] 이하, 본 발명을 보다 상세히 설명하기로 한다.
본 발명에서는 ITO와 유기층 사이의 계면 특성 개질에 높은 효과를 얻기 위하여, ITO 표면을 산소 플라즈마 처리하였다.
- [0017] ITO 표면 산소 플라즈마 처리는 우수한 ITO와 유기층 사이의 계면 특성 개질로 균일한 표면, 낮은 면저항, 높은 일함수 등을 얻을 수 있다. 따라서 양극에서의 정공주입을 향상, morphology의 향상, joule열의 감소 등으로 OLED 및 광기전 소자에서 lifetime 및 효율특성에 크게 기여할 것으로 판단된다.
- [0018] 따라서, 본 발명의 발명자들은 산소 플라즈마 처리의 최적화된 방법을 찾고자 노력하였으며, 그 결과 본 발명에 따른 ITO 표면처리 방법을 찾아내었고, 이 방법에 따라 종래의 기본 소자와 본 발명의 방법에 따라 처리된 소자를 비교한 결과 전류밀도가 최대 약 300% 상승된 것을 확인하였다.
- [0019] 상기와 같이 개선된 본 발명의 ITO 표면 플라즈마 처리 방법은 산소 플라즈마를 이용하여 250[W]의 에너지에서 10[sec]에서 60[sec]까지 10[sec] 간격으로 처리하고 핫 플레이트에서 30 [min] 베이킹한 후, 상기 플라즈마 처리된 ITO위에 썬멀 에바포레이터(Thermal evaporator)를 이용하여 비정질 플루오르화 폴리머(AF)를 0.2[Å/s]의 속도로 2.5[nm]의 두께로 5×10^{-6} Torr정도의 진공도에서 증착하고, 상기 비정질 플루오르화 폴리머 위에 Al 음전극은 5×10^{-6} Torr의 진공도에서 텅스텐 보트를 이용하여 초기 10[nm]까지는 0.5 ~ 1.0 [Å/s]로 20[nm]까지는 5 [Å/s]이하로 증착하고, 이후 15 [Å/s] 정도의 증착속도로 두께 100[nm]를 연속적으로 증착하여 이루어진다.
- [0020] 본 발명에 따르면, 상기 표면처리 방법에 따라 처리된 ITO의 표면 거칠기는 2.0[nm] ~ 2.2[nm]인 것을 확인하였다.
- [0021] 이하, 본 발명을 첨부된 도면을 참조하여 보다 상세히 설명하기로 한다.
- [0022] 본 명세서에 첨부된 도면은 본 발명의 방법에 따라 표면처리된 ITO의 각종 특성을 시험한 결과로서, 첨부도면 도 1은 본 발명의 일실시예에 따른 산소 플라즈마 에너지 따른 ITO 표면저항을 도시한 그래프이고, 도 2a 내지 2d는 본 발명의 일실시예에 따른 ITO 표면의 AFM 사진이고, 도 3은 본 발명의 일실시예에 따른 시간 변화에 따른 ITO 표면저항값을 도시한 그래프이고, 도 4a 내지 4d는 본 발명의 ITO 플라즈마 표면 처리에 따른 주파수 상승에 따라 변화된 저항 성분을 도시한 그래프이며, 도 5는 본 발명의 ITO의 산소 플라즈마 표면 처리에 따른 I-V 특성을 도시한 그래프이다.
- [0023] 본 발명에서는 시험편으로 사용된 ITO 소자는 열 증착 방법에 의해 제작하였으며, 소자는 본 발명에 따른 산소 플라즈마 처리된 소자와 기본 소자로 제작하여 비교 시험하였다.
- [0024] 본 발명에 사용된 소자의 처리는 다음과 같은 조건으로 준비하였다.
- [0025] ITO 기판은 산소 플라즈마를 이용하여 150, 200, 250, 300, 450 [W]의 에너지로 처리하고 핫 플레이트에서 30 [min] 베이킹하였다. 또한 250 [W]의 에너지에서 10 [sec]에서 60 [sec]까지 10 [sec] 간격으로 처리하고 핫 플레이트에서 30 [min] 베이킹하였다. 최적의 조건에서 플라즈마 처리된 ITO위에 AF는 0.2[Å/s]의 속도로 2.5

[nm] 의 두께로 5×10^{-6} Torr 정도의 진공도에서 증착하였다. Al 음전극도 약 5×10^{-6} Torr의 진공도에서 텅스텐 보트를 이용하여 초기 10 [nm]까지는 0.5 ~ 1.0 [Å/s]로 20 [nm]까지는 5 [Å/s] 이하로 증착하고, 그 이후 15 [Å/s] 정도로 가급적 빠르게 두께 100 [nm]를 연속적으로 증착하였다. 또한, 소자 면적은 마스크를 이용하여 3×5 [mm²]의 크기로 제작하였다. 장비는 Thermal evaporator, O₂-plasmreatment를 사용하였고, 측정은 Four-probe method meter, AFM(Atomic Force Microscope), Keithley 2000 multimeter를 사용하여 측정하였다. 측정에 사용된 프로그램은 자체 개발한 PC 소프트웨어를 사용하였다.

- [0026] 본 발명에 사용된 물질 AF (amorphous fluoropolymer)는 저표면 에너지 재료로 사용되는 것으로 비정질 플루오르화 폴리머라고 하며, 내열성, 내화학적, 소수성, 등이 우수하다.
- [0027] 썬열 에바포레이터(Thermal evaporator)는 AF를 2.5 [nm]로 증착시키기 위해 사용하였다.
- [0028] 포-프루브 메소드 미터(Four-probe method meter)는 산소 플라즈마 처리된 소자의 표면을 측정하였다.
- [0029] AFM는 산소 플라즈마 처리된 소자의 표면을 촬영하였다.
- [0030] 케이틀리 2000 멀티미터(Keithley 2000 multimeter)는 산소 플라즈마 처리된 소자와 기본 소자의 전류 밀도를 측정하였다.
- [0031] 첨부도면 도 1은 에너지 변환에 따른 표면저항으로 최적의 산소 플라즈마 처리를 찾기 위해 실험한 데이터로 Four-probe method를 사용하여 산소 플라즈마 처리된 소자의 표면을 10 포인트 측정하였고, 이를 평균화한 데이터 나타내었다.
- [0032] 따라서 처리강도가 250 [W]에서 제작된 시료가 가장 우수한 표면의 저항특성이 나타남을 확인할 수 있었다.
- [0033] 첨부도면 도 2a 내지 2b는 소자의 AFM(Atomic Force Microscope) 사진으로 Four-probe method meter로 측정된 데이터와 미세구조의 관계를 조사하기 위하여 평균 표면 거칠기를 조사하였다.
- [0034] 도 2a는 원 시료에서 평균 거칠기 3.2 [nm]를 얻었고, 2b는 250 [W]에서 평균 거칠기 2.0 [nm], 2c는 300 [W]에서 평균 거칠기 2.2 [nm], 2d는 450 [W]에서 평균 거칠기 2.9 [nm]를 확인하였다. AFM을 통하여 Four-probe method meter로 측정된 데이터와 미세구조 관계를 확인할 수 있었다.
- [0035] 그 결과 하기 표 1과 같은 소자의 표면을 AFM으로 촬영하여 얻은 표면 거칠기값을 확인할 수 있었다.

표 1

O2Plasmreatment [W]	O2Plasmreatment [W]
Non	Non
200	200
250	250
300	300
450	450

- [0037] 위 표1의 결과로 보아, 산소 플라즈마 처리된 소자는 처리되지 않은 소자대비 250 [W]에서 표면 거칠기가 약 40 [%] 감소됨을 확인 할 수 있었다. 플라즈마 에너지가 250 [W]를 초과하면 평균 표면 거칠기는 다시 증가 되는 것을 확인하였다. 이것은 산소 입자가 ITO 표면으로 파고들어 표면의 거칠기를 증가시키는 것으로 판단된다.
- [0038] 첨부도면 도 3은 에너지 250 [W]에서 처리시간에 따른 표면 저항을 나타낸 그래프로 40 [sec]에서 가장 낮은 표면 저항값 17 [Ω]을 확인할 수 있었다.
- [0039] 도 3에서 40 [sec]까지는 표면 저항값은 감소하지만 40초를 초과하게 되면 급격한 상승 폭을 확인하였다. 이것은 40 [sec]까지 산소 플라즈마 처리가 표면의 개질 향상 및 표면 저항의 감소 등에 기여하지만 40 [sec]를 초과하게 되면 산소입자가 ITO 표면에 영향을 주어 저항으로 작용하게 되고 이와 같은 이유로 표면 저항값이 상승 되는 것으로 사료된다.

[0040] 첨부도면 도 4a 내지 4b는 LCR meter 측정된 데이터를 식 (1)에 대입하고 정리한 AC인가 전압에 따른 Cole-Cole plot으로 Four-probe method meter 측정된 표면 저항값의 신뢰성을 확인하기 위하여 비교하였다.

$$[R_1 + \frac{R_p}{1 + j\omega(C_p \cdot R_p)^2}] - j[\frac{\omega C_p \cdot R_p^2}{1 + (\omega C_p \cdot R_p)^2}] = Z' - jZ''$$

[0041] 식(1) -----

[0042] 도 4a는 AC 1 [MV/cm]에서 주파수 상승에 따라 변화된 저항 성분을 나타낸 그림이고, 도 5b는 AC 4 [MV/cm]에서 주파수 상승에 따라 변화된 저항 성분을 나타낸 그림이고 도 4c는 AC 10 [MV/cm]에서 주파수 상승에 따라 변화된 저항 성분을 나타낸 그림이고, 도 4d는 AC 20 [MV/cm]에서 주파수 상승에 따라 변화된 저항 성분을 나타낸 그림이다. 시간은 각각 10초부터 50초까지 10초 간격으로 측정하였다. 40초에서 가장 낮은 표면 저항값을 확인하였다.

[0043] 도 4a 내지 4d에서 AC 인가 전계의 증가함에 따라 무효분 저항과 유효분 저항값은 감소함을 확인하였다. Four-probe method meter로부터 얻은 250 [W] 40초에서 측정된 가장 낮은 표면 저항값 17 [Ω]의 신뢰성을 확인할 수 있었다.

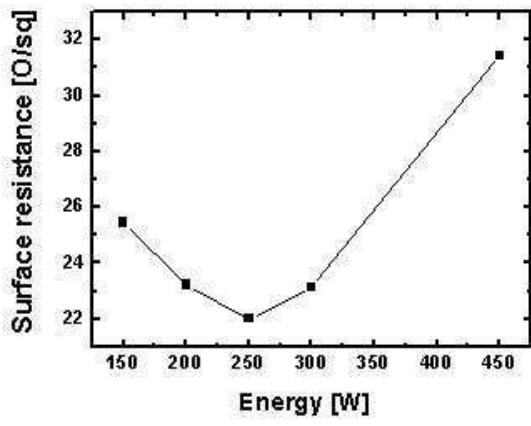
[0044] 첨부도면 도 5는 DC 전압에 따른 전류밀도로 앞서 확인한 최적의 조건에서 산소 플라즈마 처리된 소자와 기본 소자를 비교한 그림으로 산소 플라즈마 처리된 소자는 전류밀도가 처리되지 않은 소자보다 상승된 것을 확인할 수 있었다.

[0045] 도 5에서 2 [V]의 낮은 바이어스에서는 소자의 전류밀도 차이가 크지 않았지만 2 [V]에서 6 [V]까지 약 20 [%]의 전류밀도 차이가 생겼고 6 [V]에서 10 [V]까지는 최대 300 [%] 전류밀도의 상승폭을 확인할 수 있었다. 하지만 10 [V] 초과하게 되면 소자의 열화로 플라즈마 처리된 소자와 기본소자와의 차이가 비슷한 값을 나타냄을 확인하였다. 이것은 산소 플라즈마 처리가 계면의 클린화와 ITO와 유기층 사이의 계면 특성 향상, 균일한 표면, 낮은 면저항 등으로 전계 분포를 일정하게 유지시키고 이와 같은 영향으로 양극에서의 정공주입을 향상, morphology의 향상, joule열의 감소하여 전류밀도가 상승한 것으로 판단된다.

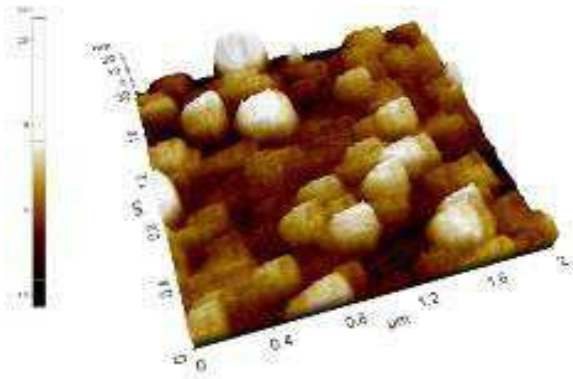
[0046] 이상에서 설명된 바와 같은 본 발명에 따른 ITO 표면 처리에 따른 계면 특성을 분석한 결과, 본 발명자들은 최적의 산소 플라즈마 처리 방법을 찾았으며, Four-probe method meter를 사용하여 산소 플라즈마 에너지는 250 [W]에서 가장 낮은 표면 저항값을 확인하였다. AFM을 사용하여 250 [W]에서 가장 낮은 평균 거칠기 값 2.0 [nm]을 확인하였다. Four-probe method meter를 사용하여 250 [W] 40 [sec]에서 가장 낮은 평균 저항값 17[Ω]을 확인하였다. LCR meter를 사용하여 250 [W] 40초에서 Four-probe method meter로 확인한 값 약 17 [Ω]의 표면 저항 값의 신뢰성을 확인하였다. 최적의 조건에서 제작된 소자와 기본소자의 전류밀도를 확인한 결과 최적의 조건에서 제작된 소자의 전류밀도가 최대 약 300 [%] 상승된 것을 확인할 수 있었다.

도면

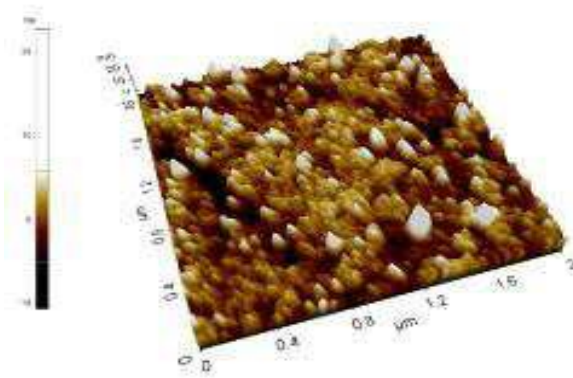
도면1



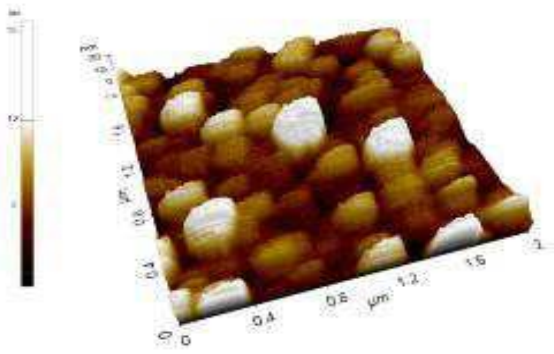
도면2a



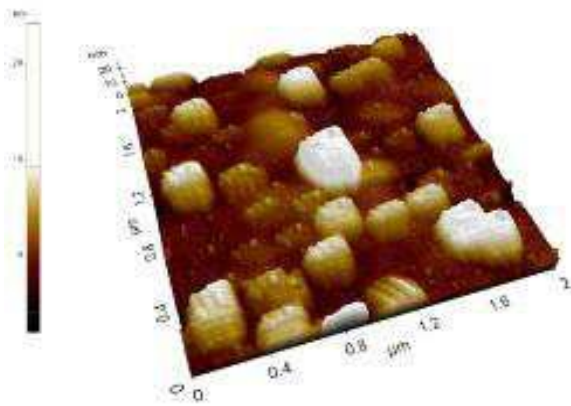
도면2b



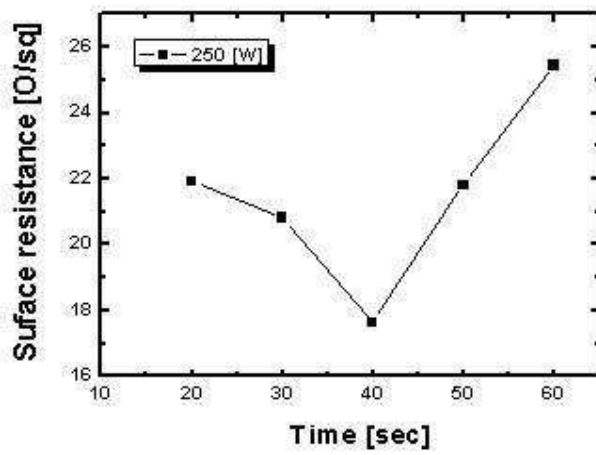
도면2c



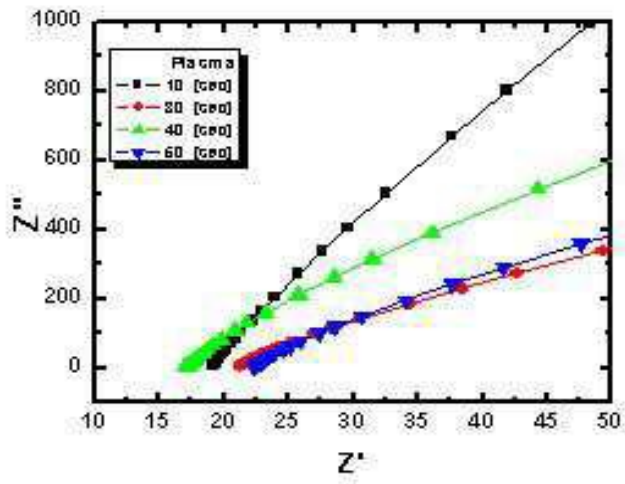
도면2d



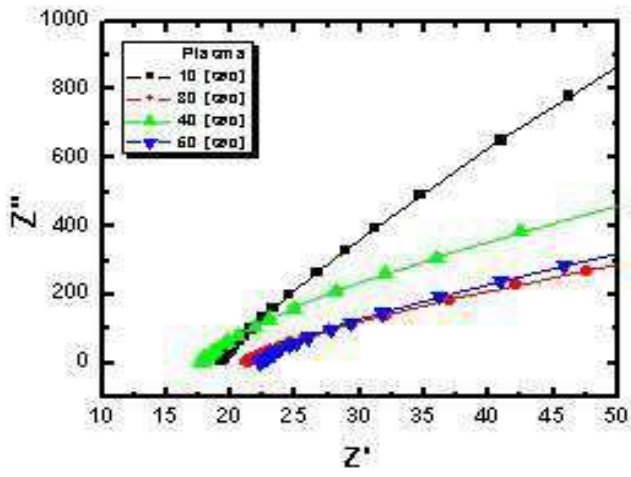
도면3



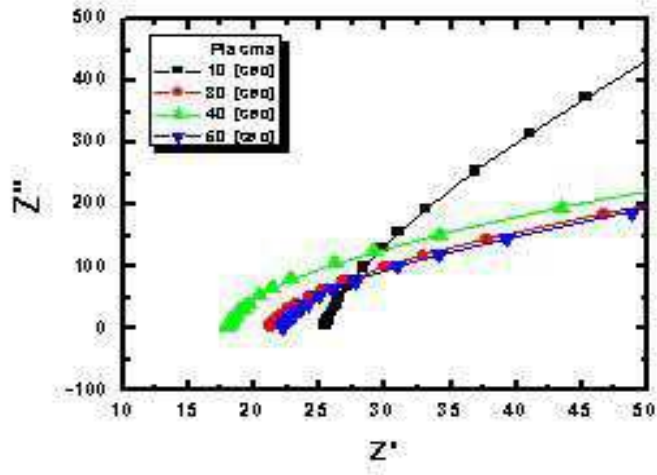
도면4a



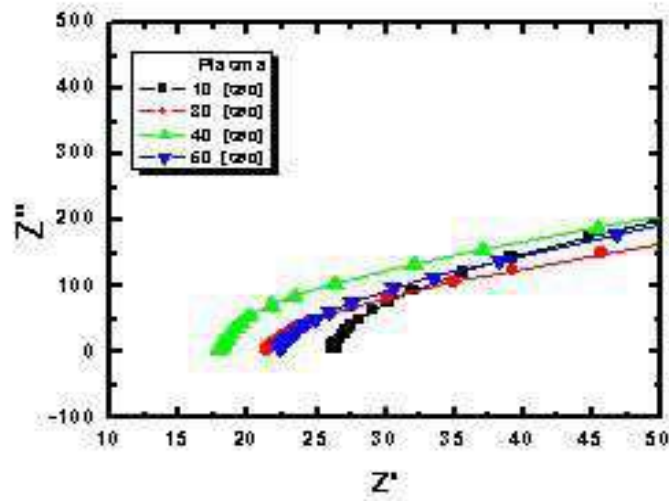
도면4b



도면4c



도면4d



도면5

