



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2021-0070542
(43) 공개일자 2021년06월15일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
H01B 1/12 (2006.01) C08J 3/28 (2006.01)
H01B 5/00 (2006.01)
(52) CPC특허분류
H01B 1/124 (2013.01)
C08J 3/28 (2013.01)
(21) 출원번호 10-2019-0160383
(22) 출원일자 2019년12월05일
심사청구일자 2019년12월05일

(71) 출원인
동아대학교 산학협력단
부산광역시 사하구 낙동대로550번길 37, 동아대학교 내 (하단동)
(72) 발명자
최재영
부산광역시 강서구 명지국제5로 141, 107동 602호
송인호
부산광역시 사상구 엄궁북로 62, 205동 604호
(뒷면에 계속)
(74) 대리인
김성현

전체 청구항 수 : 총 8 항

(54) 발명의 명칭 전도성 고분자를 포함하는 투명전극소재 및 그 제조방법

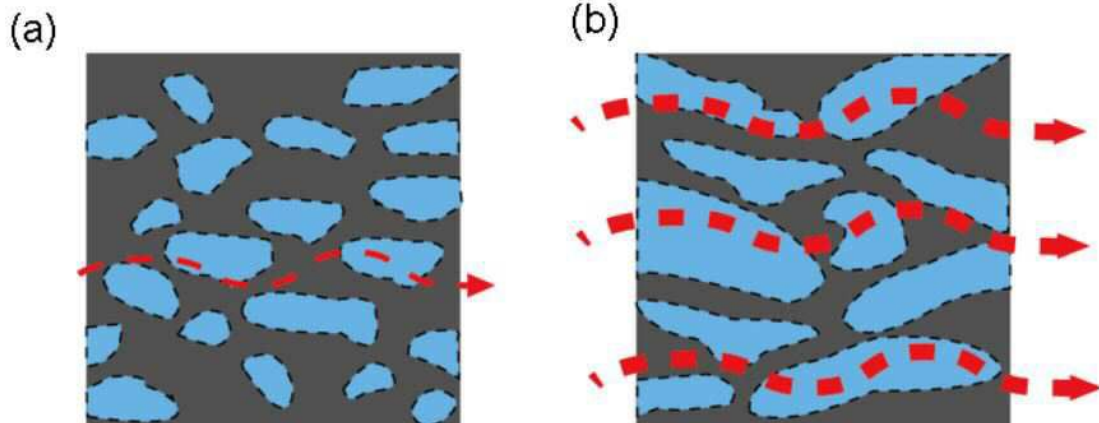
(57) 요약

본 발명의 전도성 고분자를 포함하는 투명전극소재와 그 제조방법에 관한 것으로, 보다 상세하게는 전도성 고분자인 PEDOT:PSS에 환원제를 첨가함으로써 PEDOT 간의 연결에 의한 연속적인 전도성 채널이 소재 내 형성되는 것이 특징인 투명전극소재와 그 제조방법에 관한 것이다.

본 발명은 전도성 고분자인 PEDOT:PSS에 환원제를 첨가하여 제조되는 투명전극소재를 제공함으로써, 종래의 PEDOT:PSS 및 전도성 물질에 비해 높은 전기전도도를 확보하고 투명전극소재의 제조 공정을 단순화하는 효과가 있다.

또한, 투명전극소재로서 필수적인 높은 FoM(면저항과 광 투과도에 대한 비율)을 확보함으로써 뛰어난 투명도를 나타내고 있으며, 종래의 투명전극으로 활용되던 ITO에 비해 경제성이 뛰어난 효과가 있다.

대표도 - 도2



(52) CPC특허분류

H01B 1/127 (2013.01)

H01B 5/00 (2013.01)

(72) 발명자

박나연

부산광역시 연제구 과정로 170-1

정관승

부산광역시 사하구 낙동대로563번안길 35-3, 202호

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호 1711084589

부처명 과학기술정보통신부

과제관리(전문)기관명 한국연구재단

연구사업명 생애 첫 연구사업

연구과제명 태양전지의 그리드-패러티 달성을 위한 저비용 고효율 초박형/박형 c-Si 태양전지

기술 개발

기 여 율 1/2

과제수행기관명 동아대학교

연구기간 2019.03.01 ~ 2020.02.29

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호 -

부처명 부산과학기술기평가원

과제관리(전문)기관명 부산과학기술기평가원

연구사업명 -

연구과제명 해양도시형 차세대 에너지 소재/소자 융합 연구실

기 여 율 1/2

과제수행기관명 동아대학교

연구기간 2019.03.02 ~ 2019.11.30

명세서

청구범위

청구항 1

폴리(3,4-에틸렌디옥시티오펜)(poly(3,4-ethylenedioxythiophene), PEDOT);

폴리(4-스티렌설포네이트)(poly(4-styrenesulfonate), PSS); 및

2개의 하이드록시기를 갖는 환원제;를 포함하고,

상기 환원제에 의해 상기 PEDOT 간의 연결이 이루어지고,

상기 PEDOT 간의 연결에 의해 연속적인 전도성 채널(channel)이 형성되는 것을 특징으로 하는 전도성 고분자를 포함하는 투명전극소재.

청구항 2

제 1 항에 있어서,

상기 환원제는 하이드록시기를 포함하는 알킬기, 메틸기, 프로필기, 아이소프로필기, 부틸기, 아이소부틸기, 카르복실기, 및 하이드로퀴논으로 이루어진 군으로부터 선택된 하나 이상인 것을 특징으로 하는 전도성 고분자를 포함하는 투명전극소재.

청구항 3

제 1 항에 있어서,

상기 환원제는 상기 폴리(4-스티렌설포네이트)를 환원시키는 것을 특징으로 하는 전도성 고분자를 포함하는 투명전극소재.

청구항 4

폴리(3,4-에틸렌디옥시티오펜)(poly(3,4-ethylenedioxythiophene), PEDOT):폴리(4-스티렌설포네이트)(poly(4-styrenesulfonate), PSS)의 혼합물을 필터링하는 제 1 단계;

상기 필터링된 혼합물을 유기용매에 첨가하고 교반하여 교반물을 형성하는 제 2 단계;

상기 교반물에 2개의 하이드록시기를 갖는 환원제를 첨가하고 반응시켜 반응물을 형성하는 제 3 단계; 및

상기 반응물에 초음파를 인가한 후 열처리하는 제 4 단계;를 포함하고,

상기 PEDOT 간의 연결에 의해 연속적인 전도성 채널(channel)이 형성되는 것을 특징으로 하는 전도성 고분자를 포함하는 투명전극소재의 제조방법.

청구항 5

제 4 항에 있어서,

상기 환원제는 하이드록시기를 포함하는 알킬기, 메틸기, 프로필기, 아이소프로필기, 부틸기, 아이소부틸기, 카르복실기, 및 하이드로퀴논으로 이루어진 군으로부터 선택된 하나 이상인 것을 특징으로 하는 전도성 고분자를 포함하는 투명전극소재의 제조방법.

청구항 6

제 4 항에 있어서,

상기 제 3 단계는 상기 교반물에 2개의 하이드록시기를 갖는 환원제를 첨가하고 5 내지 36 시간 반응시켜 반응물을 형성하는 것을 특징으로 하는 전도성 고분자를 포함하는 투명전극소재의 제조방법.

청구항 7

제 4 항에 있어서,

상기 제 4 단계는 상기 반응물에 유기용매 및 물 중에서 선택된 하나 이상을 더 첨가한 후 초음파를 인가하는 것을 특징으로 하는 전도성 고분자를 포함하는 투명전극소재의 제조방법.

청구항 8

제 1 항 내지 제 3 항 중 어느 한 항에 따른 투명전극소재를 적용한 유연 전자소자.

발명의 설명

기술 분야

[0001] 본 발명은 전도성 고분자를 포함하는 투명전극소재와 그 제조방법에 관한 것으로, 보다 상세하게는 전도성 고분자인 PEDOT:PSS에 환원제를 첨가함으로써 PEDOT 간의 연결에 의한 연속적인 전도성 채널이 소재 내 형성되는 것이 특징인 투명전극소재와 그 제조방법에 관한 것이다.

배경 기술

[0002] 광전자 소자는 지난 30년간 많은 발전을 이루었지만 최근에는 유연성, 저렴한 비용, 그리고 휴대성과 같은 보다 다양한 특성들을 포함한 차세대 광전자 소자에 대한 수요가 점차 확대되고 있으며, 이와 관련된 많은 연구들이 전세계적으로 진행되고 있다. 특히, 고기능성 차세대 광전자 소자 제작에 필수적으로 요구되는 높은 광 투과도와 전기전도도를 제공할 수 있는 저가의 유연 투명전극소재 개발에 대한 연구가 최근 많은 관심을 받고 있다.

[0003] 현재 광전자 소자의 투명전극으로 사용되는 Indium Tin Oxide(ITO)의 경우 10,000 S/cm 이상의 높은 전기전도도(conductivity)와 90% 이상의 광투과율(transmittance)을 가지는 장점에도 불구하고 고가의 희소금속인 인듐의 사용 및 고진공 스퍼터링 공정 적용에 의한 높은 제조 단가를 수반하는 문제점이 있으며, ITO 박막 증착 후 요구되는 300 °C 이상에서의 고온 열처리로 인해 낮은 열적 안정성을 가지는 유연기판에의 적용이 제한되는 물론, 열처리 이후에도 유연 기판과의 열팽창 계수 차이에 의한 변형 발생으로 인해 차세대 플렉시블 디바이스에 적용이 어렵다는 문제점이 있다.

[0004] 따라서, 차세대 플렉서블 디바이스 제작을 위해서는 저온공정용 새로운 투명전극소재의 개발이 필수적으로 요구되고 있으며, 현재까지 ITO를 대체하기 위한 차세대 투명전극소재으로써, 그래핀(graphene), 금속 나노와이어(metallic nanowire), 탄소나노튜브(carbon nanotube) 그리고 전도성 고분자(conducting polymer) 등의 다양한 소재들이 전세계적으로 폭넓게 연구 개발되고 있다. 이 중 전도성 고분자 소재(polyacetylene(PA), polypyrrole(PPy), polyaniline(PANI), poly(3,4-ethylenedioxythiophene):poly(4-styrenesulfonate)(PEDOT:PSS))는 250 °C 이하 저온공정 특성을 가짐과 동시에 가격이 저렴하고, 합성과 가공이 용이할 뿐만 아니라, 높은 유연성을 가지는 장점을 가짐으로써 차세대 투명전극소재로서 활용하게 위해 많은 연구가 진행되고 있다.

[0005] 이에 따라, "대한민국 공개특허 제 10-2016-0027654호"는 전기전도도가 향상된 PEDOT:PSS 기반의 전극과 그 제조방법에 대하여 개시하고 있으며, 황산으로 PEDOT:PSS 박막을 처리하고 이를 세척하는 단계를 포함하는 제조방법을 개시하고 있으나, 제조 공정 중 강산성 용액인 황산을 표면 처리제로 사용함으로써 안정성 및 양산공정 적용 제한의 문제점이 있으며, 황산에 의해 PEDOT:PSS로부터 탈리된 PSS를 제거하기 위한 과정을 거쳐야하므로 공

정이 복잡해지는 문제점이 있다.

선행기술문헌

특허문헌

- [0006] (특허문헌 0001) KR 10-2016-0027654 A
(특허문헌 0002) KR 10-2013-0139964 A

발명의 내용

해결하려는 과제

- [0007] 상기 문제점을 해결하기 위하여 본 발명은 우수한 전기전도도 및 광 투과도를 나타내는 전도성 고분자를 포함한 투명전극소재를 제공하는 것을 목적으로 한다.
- [0008] 또한, 전도성 고분자를 포함하는 투명전극소재의 제조방법을 제공하는 것을 목적으로 한다.
- [0009] 또한, 전도성 고분자를 포함하는 투명전극소재를 적용한 유연 전자소자를 제공하는 것을 목적으로 한다.

과제의 해결 수단

- [0010] 상기 목적을 해결하기 위하여 본 발명은,
- [0011] 폴리(3,4-에틸렌디옥시티오펜)(poly(3,4-ethylenedioxythiophene), PEDOT);
- [0012] 폴리(4-스티렌설포네이트)(poly(4-styrenesulfonate), PSS); 및
- [0013] 2개의 하이드록시기를 갖는 환원제;를 포함하고,
- [0014] 상기 환원제에 의해 상기 PEDOT 간의 연결이 이루어지고,
- [0015] 상기 PEDOT 간의 연결에 의해 연속적인 전도성 채널(channel)이 형성되는 것을 특징으로 하는 전도성 고분자를 포함하는 투명전극소재를 제공한다.
- [0016] 상기 다른 목적을 해결하기 위하여 본 발명은,
- [0017] 폴리(3,4-에틸렌디옥시티오펜)(poly(3,4-ethylenedioxythiophene), PEDOT):폴리(4-스티렌설포네이트)(poly(4-styrenesulfonate), PSS)의 혼합물을 필터링하는 제 1 단계;
- [0018] 상기 필터링된 혼합물을 유기용매에 첨가하고 교반하여 교반물을 형성하는 제 2 단계;
- [0019] 상기 교반물에 2개의 하이드록시기를 갖는 환원제를 첨가하고 반응시켜 반응물을 형성하는 제 3 단계; 및
- [0020] 상기 반응물에 초음파를 인가한 후 열처리하는 제 4 단계;를 포함하고,
- [0021] 상기 PEDOT 간의 연결에 의해 연속적인 전도성 채널(channel)이 형성되는 것을 특징으로 하는 전도성 고분자를 포함하는 투명전극소재의 제조방법을 제공한다.
- [0022] 상기 또 다른 목적을 해결하기 위하여 본 발명은,
- [0023] 투명전극소재를 적용한 유연 전자소자를 제공한다.

발명의 효과

- [0024] 본 발명은 전도성 고분자인 PEDOT:PSS에 환원제를 첨가하여 제조되는 투명전극소재를 제공함으로써, 종래의 PEDOT:PSS 및 전도성 물질에 비해 높은 전기전도도를 확보하고 투명전극소재의 제조 공정을 단순화하는 효과가 있다.
- [0025] 또한, 투명전극소재로서 필수적인 높은 FoM(면저항과 광 투과도에 대한 비율)을 확보함으로써 뛰어난 투명도를 나타내고 있으며, 종래의 투명전극으로 활용되던 ITO에 비해 경제성이 뛰어난 효과가 있다.

도면의 간단한 설명

- [0026] 도 1은 본 발명의 PEDOT:PSS의 구조와 결합관계를 나타낸 것이다.
- 도 2는 본 발명의 일 실시예에 따른 PEDOT:PSS 구조 변화와 이를 통해 형성되는 연속적인 전도성 채널을 나타낸 것이다.
- 도 3은 본 발명의 일 실시예 및 일 비교예에 따른 투명전극소재의 전기전도도를 나타낸 그래프이다.
- 도 4a는 본 발명의 일 비교예에 따른 투명전극소재의 AFM 이미지이다.
- 도 4b는 본 발명의 일 실시예에 따른 투명전극소재의 AFM 이미지이다.
- 도 5는 본 발명의 일 실시예 및 일 비교예에 따른 투명전극소재의 흡수 스펙트럼을 나타낸 그래프이다.
- 도 6은 본 발명의 일 실시예 및 일 비교예에 따른 투명전극소재의 라만 분광법에 따른 구조 변화 양상을 나타낸 그래프이다.
- 도 7은 본 발명의 일 실시예에 따른 투명전극소재 내 PEDOT와 PSS의 하이드로퀴논 첨가에 의한 화학반응을 나타낸 것이다.
- 도 8은 본 발명의 일 실시예 및 일 비교예에 따른 투명전극소재의 XPS 분석 결과를 나타낸 그래프이다.
- 도 9는 본 발명의 일 실시예 및 일 비교예에 따른 투명전극소재의 광 투과율을 나타낸 그래프이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

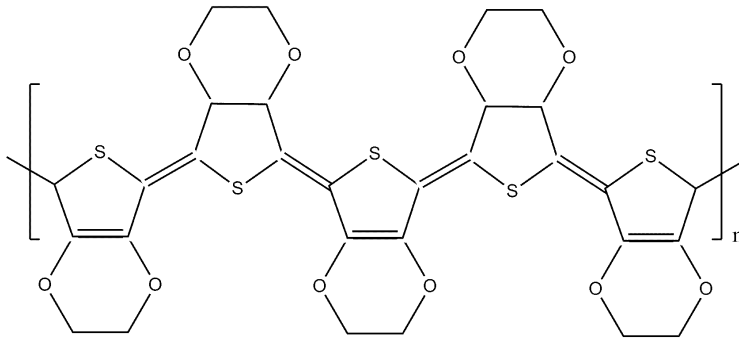
- [0027] 본 명세서에 있어서, 어떤 부분이 어떤 구성요소를 "포함" 한다고 할 때, 이는 특별히 반대되는 기재가 없는 한 다른 구성요소를 제외하는 것이 아니라 다른 구성 요소를 더 포함할 수 있는 것을 의미한다. 그리고 본 명세서에서 사용된 용어는 실시예들을 설명하기 위한 것이며, 본 발명을 제한하고자 하는 것이 아니다. 본 명세서에서 단수형은 문구에서 특별히 언급하지 않는한 복수형도 포함한다.
- [0028] 본 발명의 전도성 고분자와 환원제를 포함하는 투명전극소재와 그 제조방법에 관한 것이다.
- [0029] 일측면에 따르면, 본 발명은 폴리(3,4-에틸렌디옥시티오펜)(poly(3,4-ethylenedioxythiophene), PEDOT); 폴리(4-스티렌설포네이트)(poly(4-styrenesulfonate), PSS); 및 2개의 하이드록시기를 갖는 환원제;를 포함하고, 상기 환원제에 의해 상기 PEDOT 간의 연결이 이루어지고, 상기 PEDOT 간의 연결에 의해 연속적인 전도성 채널(channel)이 형성되는 것을 특징으로 하는 전도성 고분자를 포함하는 투명전극소재를 제공한다.
- [0030] 본 발명의 PEDOT와 PSS는 바람직하게 하기 도 1에 도시된 형태를 나타낼 수 있다. PEDOT:PSS는 전도성을 나타내는 PEDOT와 PEDOT의 용해도와 안정성을 향상시키는 PSS가 수용성 용액 내 혼합된 형태의 고분자 소재일 수 있다. 이러한 PEDOT:PSS는 다른 전도성 고분자에 비해 높은 안정성과 전기전도도 및 광 투과도를 나타낼 수 있으나, 이를 투명전극소재로 활용하고자 할 시 PEDOT의 안정성 및 수용성 향상을 위해 첨가되는 PSS의 절연체적 특성 및 PEDOT:PSS의 박막 표면에 위치하려는 특성에 의해 전기전도도가 1 S/cm 이하 수준에 머물러 기존의 투명전극소재에 비해 전기전도도가 현저히 떨어질 수 있으며, 전도성이 높은 PEDOT의 외부로의 전하 방출이 방해될 수 있다. 이는 도 1의 (b)에 도시된 바와 같이 PEDOT:PSS가 나타내는 콜로이드 구조에 의해 전도성의 PEDOT가 연속적인 전하 경로를 확보하지 못하고 불연속적인 전하 수송 경로를 형성하는 것에 기인할 수 있다.
- [0031] PEDOT:PSS는 스핀코팅을 통한 박막을 형성할 시 도 1과 같이 전도성의 PEDOT과 절연성의 PSS 각각이 코어와 셸의 부위에 위치하게 되며, 이로 인해 PEDOT:PSS는 박막 내에서 코어-셸 형태를 나타낼 수 있다. 이러한 구조적 특성에 의해 전도성을 나타낼 수 있는 PEDOT의 박막 내 이동이 제한될 수 있으며 그 결과로 PEDOT:PSS가 낮은 전기전도도를 나타낼 수 있다. 이를 해결하기 위해서는 절연성의 PSS를 전도성의 PEDOT로부터 일정량 분리 또는 제거하는 과정이 필요하며, 나아가 PEDOT의 연속적인 전도성 채널 형성의 촉진 과정이 필요할 수 있다.
- [0032] 도 2에 도시된 도면을 참고하면, 도 2의 (a)에서 나타나는 기존의 PEDOT:PSS 내 PEDOT(파란 부분)에 비해 (b)에서 나타나는 본 발명의 투명전극소재 박막 내 PEDOT(파란 부분)이 더욱 연속적인 전도성 채널을 형성함을 알 수 있으며, 이는 PSS(회색부분)의 효과적인 분리에 의한 것임을 알 수 있다.
- [0033] 본 발명의 전도성 고분자를 포함하는 투명전극소재는 PEDOT:PSS 및 2개의 하이드록시기를 갖는 환원제를 구성으로 포함할 수 있다. 본 발명의 환원제는 PSS를 환원시켜 PSS-H로 변환시킬 수 있으며, 이를 통해 절연성의 PSS

를 전도성의 PEDOT으로부터 분리해내어 PEDOT간의 연결이 이루어지게 할 수 있다. 이에 PEDOT 간의 연결에 의한 연속적인 전도성의 채널이 투명전극소재 내 형성될 수 있다.

[0034] 이러한 환원제는 하이드록시기를 포함하는 알킬기, 메틸기, 프로필기, 아이소프로필기, 부틸기, 아이소부틸기, 카르복실기, 및 하이드로퀴논 중에서 선택된 하나 이상을 포함한 고체 또는 액체로 구성된 군으로부터 선택된 하나 이상일 수 있으며, 바람직하게는 하이드로퀴논, 황산 하이드로퀴논, 질산 하이드로퀴논, 초산 하이드로퀴논, 및 메탄올 하이드로퀴논 중에서 선택된 하나일 수 있다.

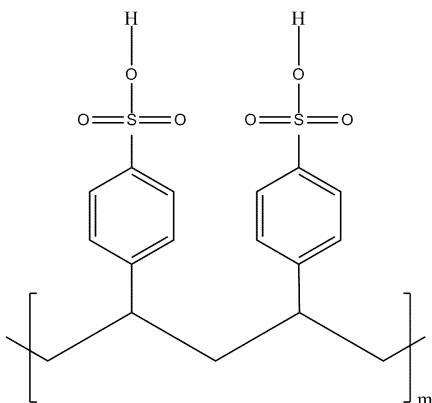
[0035] 본 발명의 전도성 고분자를 포함하는 투명전극소재는 바람직하게 하기 화학식 1 및 화학식 2를 포함하는 투명전극소재일 수 있다.

[0036] [화학식 1]



[0037]

[0038] [화학식 2]



[0039]

[0040] n은 1 내지 15의 정수일 수 있고, m은 1 내지 37.5의 정수일 수 있다. 화학식 1은 PEDOT:PSS와 하이드로퀴논의 반응에 의해 형성 또는 변화된 퀴노이드(quinoid) 구조의 PEDOT일 수 있으며, 화학식 2는 PEDOT:PSS와 하이드로퀴논의 반응에 의해 형성된 PSS-H 즉, 수소가 결합된 PSS일 수 있다. 본 발명의 투명전극소재는 화학식 1의 PEDOT 및 화학식 2의 PSS-H를 구성으로 포함함으로써 종래의 PEDOT:PSS 보다 높은 전기전도도를 나타낼 수 있으며, 뛰어난 광 투과도와 유연성을 나타낼 수 있다. 이러한 효과는 PSS-H가 형성됨에 따라 전도성을 나타낼 수 있는 PEDOT로부터 분리되고, PSS가 분리된 퀴노이드 구조의 PEDOT 간의 연결에 의해 전하가 이동할 수 있는 연속적인 전도성 채널의 형성에 의한 것일 수 있다.

[0041] 다른 측면에 따르면, 본 발명은 폴리(3,4-에틸렌디옥시티오펜)(poly(3,4-ethylenedioxythiophene), PEDOT):폴리(4-스티렌설포네이트)(poly(4-styrenesulfonate), PSS)의 혼합물을 필터링하는 제 1 단계; 상기 필터링된 혼합물을 유기용매에 첨가하고 교반하여 교반물을 형성하는 제 2 단계; 상기 교반물에 2개의 하이드록시기를 갖는 환원제를 첨가하고 반응시켜 반응물을 형성하는 제 3 단계; 및 상기 반응물에 초음파를 인가한 후 열처리하는 제 4 단계;를 포함하고, 상기 PEDOT 간의 연결에 의해 연속적인 전도성 채널(channel)이 형성되는 것을 특징으로 하는 전도성 고분자를 포함하는 투명전극소재의 제조방법을 제공한다.

[0042] 본 발명의 전도성 고분자를 포함하는 투명전극소재의 제조방법에서 환원제는 하이드록시기를 포함하는 알킬기, 메틸기, 프로필기, 아이소프로필기, 부틸기, 아이소부틸기, 카르복실기, 및 하이드로퀴논 중에서 선택된 하나 이상을 포함한 고체 또는 액체로 구성된 군으로부터 선택된 하나 이상일 수 있으며, 바람직하게는

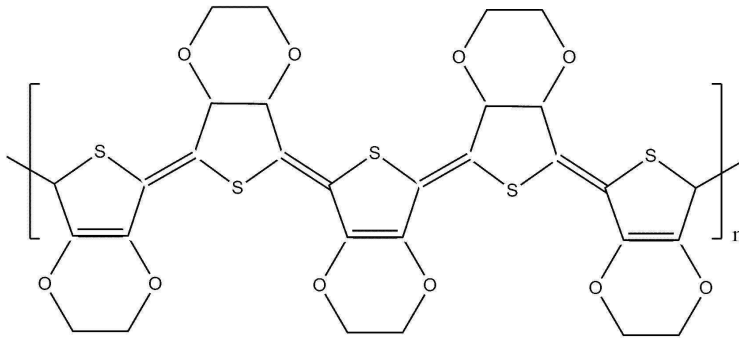
하이드로퀴논, 황산 하이드로퀴논, 질산 하이드로퀴논, 초산 하이드로퀴논, 및 메탄올 하이드로퀴논 중에서 선택된 하나일 수 있다.

[0043] 본 발명의 투명전극소재 제조방법의 제 2 단계에서 혼합물에 첨가하는 유기용매는 바람직하게, 극성용매일 수 있으며, 더 바람직하게 에탄올, 메탄올 및 이소프로판올 중에서 선택된 하나 일 수 있다. 이러한 유기용매는 환원제를 용해하기 위하여 첨가할 수 있으며, 하이드로퀴논과 같은 수용성의 환원제의 경우에는 필요에 따라 배제할 수도 있다. 또한, 제조방법의 제 3 단계에서 교반물에 2개의 하이드록시기를 갖는 환원제를 첨가하고 5 내지 36 시간 반응시켜 반응물을 형성할 수 있으며 5 내지 36 시간 동안 반응시키지 않을 경우, 환원제와 PSS간의 제한된 반응으로 인해 전기전도도의 향상이 제한될 수 있고, PEDOT:PSS 수용액 내 과도한 PSSH의 형성에 따른 PEDOT의 수용성 저하로 인해 코팅된 PEDOT:PSS 박막의 균일도가 저하될 수도 있다. 또한, 제조방법의 제 4 단계는 상기 반응물에 유기용매 및 물 중에서 선택된 하나 이상을 더 첨가한 후 초음파를 인가할 수 있다.

[0044] 본 발명의 전도성 고분자를 포함하는 투명전극소재의 제조방법에 의해 제조되는 투명전극소재는 PEDOT:PSS 및 2개의 하이드록시기를 갖는 환원제를 구성으로 포함할 수 있다. 본 발명의 환원제는 PSS를 환원시켜 PSS-H로 변환시킬 수 있으며, 이를 통해 절연성의 PSS를 전도성의 PEDOT으로부터 분리해내어 PEDOT간의 연결이 이루어지게 할 수 있다. 이에 PEDOT 간의 연결에 의한 연속적인 전도성의 채널이 투명전극소재 내 형성될 수 있다.

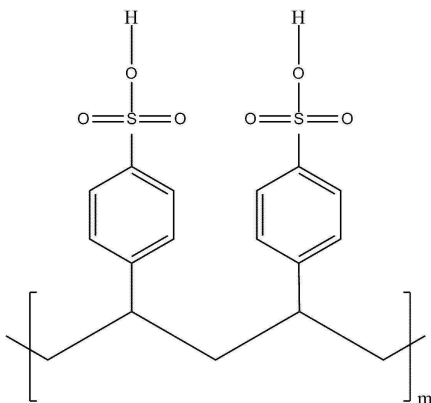
[0045] 본 발명의 전도성 고분자를 포함하는 투명전극소재의 제조방법에 의해 제조되는 투명전극소재는 바람직하게 하기 화학식 1 및 화학식 2를 포함하는 투명전극소재일 수 있다.

[0046] [화학식 1]



[0047]

[0048] [화학식 2]



[0049]

[0050] n은 1 내지 15의 정수일 수 있고, m은 1 내지 37.5의 정수일 수 있다. 화학식 1은 PEDOT:PSS와 하이드로퀴논의 반응에 의해 형성 또는 변화된 퀴노이드(quinoid) 구조의 PEDOT일 수 있으며, 화학식 2는 PEDOT:PSS와 하이드로퀴논의 반응에 의해 형성된 PSS-H 즉, 수소가 결합된 PSS일 수 있다. 본 발명의 투명전극소재의 제조방법에 의해 제조된 투명전극소재는 화학식 1의 PEDOT 및 화학식 2의 PSS-H를 구성으로 포함함으로써 종래의 PEDOT:PSS 보다 높은 전기전도도를 나타낼 수 있으며, 뛰어난 광 투과도와 유연성을 나타낼 수 있다. 이러한 효과는 PSS-H가 형성됨에 따라 전도성을 나타낼 수 있는 PEDOT로부터 분리되고, PSS가 분리된 퀴노이드 구조의 PEDOT 간의 연결에 의해 전하가 이동할 수 있는 연속적인 전도성 채널의 형성에 의한 것일 수 있다.

[0051] 또 다른 측면에 따르면, 본 발명은 전도성 고분자를 포함하는 투명전극소재를 적용한 유연 전자소자를

제공한다. 이러한 유연 전자소자는 고전도성과 높은 광 투과도를 동시에 제공 가능한 유연 투명전극소재로써 현재 ITO를 적용하고 있는 대부분의 전자 소자 제작에 적용 가능성은 물론 소재적 유연성으로 인해 유연 기관위 전도성 박막 형성도 가능함에 따라 플렉서블 전자소자에도 적용 할 수 있다.

[0052] 본 발명의 유연 전자소자에 적용하는 투명전극소재에 대한 설명은 본 발명의 은 전도성 고분자를 포함하는 투명 전극소재에 대하여 상술한 설명과 동일 또는 유사하므로, 생략하기로 한다.

[0053] 하기 실시예에 의하여 본 발명을 더욱 상세하게 설명하고자 한다. 단 하기 실시예는 본 발명을 예시하기 위한 것으로 본 발명의 범위가 실시예에 의해 한정되는 것은 아니다. 본 발명의 개시가 완전하도록 하며, 본 발명이 속하는 기술 분야에서 통상의 지식을 가진 자에게 발명의 범주를 완전하게 알려주기 위해 제공되는 것이다.

[0055] <실시예>

[0056] 실시예 1 - 하이드로퀴논이 첨가된 투명전극소재 (0.001 wt%)

[0057] PEDOT:PSS(Heraeus, Clevious PH 1000)의 큰 사이즈 입자를 제거하기 위해 PTFE syringe filter(0.45 μm)를 이용하여 필터링하였으며, 필터링된 PEDOT:PSS 용액과 Methyl alcohol(99.5%, SAMCHUN Co.)을 1 : 1의 중량비로 혼합하여 6 ml의 혼합액을 형성하고 10 mg의 HQ(99%, Wako Co.)를 첨가하여 overnight stirring 하였다. 이후 acetone, methanol, D.I water에 유리기판을 담군후 초음파를 인가하여 유리기판 표면을 세척하였다. 세척한 유리기판 위에 PEDOT:PSS를 스핀 코팅한 후 100 ~ 200℃에서 10~30 분간 열처리 할 수 있으며, 본 실시예에서는 170℃에서 10 분간 열처리하였다. 열처리 이후 상온까지 식히는 과정을 거쳐 최종적으로 하이드로퀴논을 첨가한 투명전극소재를 제조하였다.

[0059] 실시예 2 - 하이드로퀴논이 첨가된 투명전극소재 (0.003 wt%)

[0060] PEDOT:PSS(Heraeus, Clevious PH 1000)의 큰 사이즈 입자를 제거하기 위해 PTFE syringe filter(0.45 μm)를 이용하여 필터링하였으며, 필터링된 PEDOT:PSS 용액과 Methyl alcohol(99.5%, SAMCHUN Co.)을 1 : 1의 중량비로 혼합하여 6 ml의 혼합액을 형성하고 20 mg의 HQ(99%, Wako Co.)를 첨가하여 overnight stirring 하였다. 이후 acetone, methanol, D.I water에 유리기판을 담군후 초음파를 인가하여 유리기판 표면을 세척하였다. 세척한 유리기판 위에 PEDOT:PSS를 스핀 코팅한 후 100 ~ 200℃에서 10~30 분간 열처리 할 수 있으며, 본 실시예에서는 170℃에서 10 분간 열처리하였다. 열처리 이후 상온까지 식히는 과정을 거쳐 최종적으로 하이드로퀴논을 첨가한 투명전극소재를 제조하였다.

[0062] 실시예 3 - 하이드로퀴논이 첨가된 투명전극소재 (0.005 wt%)

[0063] PEDOT:PSS(Heraeus, Clevious PH 1000)의 큰 사이즈 입자를 제거하기 위해 PTFE syringe filter(0.45 μm)를 이용하여 필터링하였으며, 필터링된 PEDOT:PSS 용액과 Methyl alcohol(99.5%, SAMCHUN Co.)을 1 : 1의 중량비로 혼합하여 6 ml의 혼합액을 형성하고 30 mg의 HQ(99%, Wako Co.)를 첨가하여 overnight stirring 하였다. 이후 acetone, methanol, D.I water에 유리기판을 담군후 초음파를 인가하여 유리기판 표면을 세척하였다. 세척한 유리기판 위에 PEDOT:PSS를 스핀 코팅한 후 100 ~ 200℃에서 10~30 분간 열처리 할 수 있으며, 본 실시예에서는 170℃에서 10 분간 열처리하였다. 열처리 이후 상온까지 식히는 과정을 거쳐 최종적으로 하이드로퀴논을 첨가한 투명전극소재를 제조하였다.

[0065] 비교예 1 - 하이드로퀴논을 첨가하지 않은 투명전극소재 (Pristine PEDOT:PSS)

[0066] PEDOT:PSS(Heraeus, Clevious PH 1000)의 큰 사이즈 입자를 제거하기 위해 PTFE syringe filter(0.45 μm)를 이용하여 필터링한 후 overnight stirring 하였다. 이후 acetone, methanol, D.I water에 유리기판을 담군후 초음파를 인가하여 유리기판 표면을 세척하였다. 세척한 유리기판 위에 PEDOT:PSS를 스핀 코팅한 후 100 ~ 200℃에서 10~30 분간 열처리 할 수 있으며, 본 실시예에서는 170℃에서 10 분간 열처리하였다. 열처리 이후 상온까지 식히는 과정을 거쳐 최종적으로 하이드로퀴논을 첨가한 투명전극소재를 제조하였다.

- [0068] 비교예 2 - 하이드로퀴논을 첨가하지 않은 투명전극소재 (MeOH 첨가 PEDOT:PSS)
- [0069] PEDOT:PSS(Heraeus, Clevious PH 1000)의 큰 사이즈 입자를 제거하기 위해 PTFE syringe filter(0.45 μm)를 이용하여 필터링하였으며, 필터링된 PEDOT:PSS 용액과 Methyl alcohol(99.5%, SAMCHUN Co.)을 1 : 1의 중량비로 혼합하여 6 ml의 혼합액을 형성한 후 overnight stirring 하였다. 이후 acetone, methanol, D.I water에 유리기관을 담군후 초음파를 인가하여 유리기관 표면을 세척하였다. 세척한 유리기관 위에 PEDOT:PSS를 스핀 코팅한 후 100 ~ 200℃에서 10~30 분간 열처리 할 수 있으며, 본 실시예에서는 170℃에서 10 분간 열처리하였다. 열처리 이후 상온까지 식히는 과정을 거쳐 최종적으로 하이드로퀴논을 첨가한 투명전극소재를 제조하였다.
- [0071] 명세서 상 기재된 용이하게 하기 위하여 실시예 1 내지 3의 투명전극소재를 각각 A, B, C라 명명하고, 비교예 1 및 2의 투명전극소재를 각각 E, F라 명명한다.
- [0073] <실험예>
- [0074] 실험예 1 - 전기전도도 측정
- [0075] 상기 실시예 및 비교예에 따른 투명전극소재의 전기적 특성 변화를 관찰하기 위하여 먼저 저항은 four-point probe를 사용하여 샘플 당 5번씩 측정 후 평균값을 도출하였으며 두께는 surface profiler를 사용하여 측정한 후 면저항과 두께의 곱을 통해 비저항을 산출하였고 비저항의 역수를 취하여 전기전도도를 산출하였다.
- [0077] 실험예 2 - AFM 이미지 측정
- [0078] 상기 실시예 및 비교예에 따른 투명전극소재의 구조를 확인하기 위하여 Veeco DI-3100의 tapping mode를 이용하여 AFM 이미지를 측정하였다.
- [0080] 실험예 3 - 흡수 스펙트럼 측정
- [0081] 상기 실시예 및 비교예에 따른 투명전극소재의 흡수 스펙트럼을 확인하기 위하여 적분구(DRA2500)를 보유한 UV-Vis-NIR(Agilent Cary 5000)을 이용하였으며, 200~2480 nm(energy range of 0.5 ~ 6.2eV)의 범위에서 광투과율과 반사도를 측정하여 각각의 에너지 흡수 특성을 확인하였다.
- [0083] 실험예 4 - 라만 분광법
- [0084] 상기 실시예 및 비교예에 따른 투명전극소재의 구조 변화 양상을 분석하기 위하여 Raman spectroscopy(WITec alpha300R)을 이용하여 빛의 강도를 측정하였다.
- [0086] 실험예 5 - XPS 분석
- [0087] 상기 실시예 및 비교예에 따른 투명전극소재 내 PEDOT 및 PSS의 비율을 확인하기 위하여 X-ray photoelectron spectroscopy(XPS)를 이용하였으며, XPS는 Thermo-Fisher사의 K-alpha를 통해 157~175 eV의 범위로 측정하였다.
- [0089] 실험예 6 - 광 투과도 측정
- [0090] 상기 실시예 및 비교예에 다른 투명전극소재의 광 투과도를 비교하기 위하여 직류 전도성(direct current conductivity, σ_{dc})/광학 전도성(optical conductivity, σ_{op})의 비율로 정의되는 성능 지수(Figure of Merit, FoM)를 산출하기 위하여 계산식 1을 이용하였다. 이때, FoM는 투명전극소재의 면저항(sheet resistance, R_{sheet})과 550 nm 파장에서의 광투과율(transmittance, $T(\lambda)$)를 이용하여 계산하였다.

- [0091] [계산식 1]
- [0092] $FOM = \sigma_{dc} / \sigma_{op}(\lambda) = 188.5 \, \Omega / R_{sheet}(T(\lambda)^{-0.5} - 1)$
- [0093] 이때, 먼저항성은 four-point probe(AIT Co., Ltd., CMT-SR2000N)를 이용하여 샘플 당 5 points를 측정 후 평균값을 도출하였으며, 적분구(DRA2500)를 보유한 UV-Vis-NIR(Agilent Cary 5000)을 이용하여 광투과율을 측정하였다.
- [0095] 실험예 7 - 필름 두께 측정
- [0096] 상기 실시예 및 비교예에 다른 투명전극소재 필름의 두께를 측정하기 위하여 surface profiler(KLA Tencor P6)를 이용하였으며, 측정된 두께를 비교하였다.
- [0098] <결과 및 평가>
- [0099] 결과 1 - 투명전극소재의 전기전도도
- [0100] 상기 실시예 1 내지 3 및 비교예 1 및 2에 따른 투명전극소재의 전기적 특성 변화를 상기 실험예 1을 통해 확인하였으며, 그 결과를 도 3에 도시하였다.
- [0101] 아무런 처리를 하지않은 투명전극소재 E는 $0.7 \, S \cdot cm^{-1}$ 의 매우 낮은 전기전도도가 측정되었으며, MeOH만 첨가된 투명전극소재 F는 $1.95 \, S \cdot cm^{-1}$ 의 전기전도도를 나타내어 미미한 수준의 증가만이 측정되었다. 반면, 하이드로퀴논이 첨가된 경우, A는 $1096.6 \, S \cdot cm^{-1}$ 의 전기전도도가 측정되었으며, B는 $1396.74 \, S \cdot cm^{-1}$, C는 $896.93 \, S \cdot cm^{-1}$ 의 전기전도도가 측정되었다. 하이드로퀴논의 첨가 유무에 따라 전기전도도가 최대 약 2000배까지 증가하였으며, 하이드로퀴논이 30 mg 일때, 전기전도도가 소폭 감소하는 결과를 통해 전기전도도가 뛰어난 투명전극소재에 최적화된 전도성 고분자와 환원제의 비율을 확인할 수 있었다.
- [0102] 이는 하이드로퀴논의 첨가로 인해 기존의 PEDOT:PSS의 낮은 전기전도도를 효과적으로 개선할 수 있음을 의미하는 결과로, 하이드로퀴논과 같은 환원제에 의해 PEDOT:PSS의 표면에 과도하게 존재하여 전하의 외부 추출을 방해하는 PSS의 표면 분포를 효과적으로 감소시킴과 동시에 기존의 PEDOT:PSS의 코어-셸 구조를 약화시킴으로써 PEDOT간의 연결이 유도되어 더욱 많은 전도성 채널의 형성시키는 메커니즘에 의해 나타나는 결과이다.
- [0104] 결과 2 - 투명전극소재의 AFM 이미지
- [0105] 상기 실시예 1 내지 3 및 비교예 1 및 2에 따른 투명전극소재 내 구조를 상기 실험예 2를 통해 확인하였으며, 그 결과를 도 4a 내지 도 4b에 도시하였다.
- [0106] 도 4a의 (a) 및 (b)는 각각 비교예에 따른 E와 F의 AFM 이미지로, (a)에서 밝게 표시된 부위가 PEDOT:PSS의 코어-셸 구조인 것을 확인할 수 있었으며, (b)에서 그 부위의 크기가 다소 감소함과 동시에 보다 균일하게 분포된 것을 확인할 수 있었다. 이는 MeOH의 첨가에 의한 PEDOT:PSS 표면의 변화에 의한 것으로 PEDOT:PSS의 코어-셸 구조가 다소 약화된 것을 의미하는 결과이다. 메커니즘적으로, MeOH가 PEDOT:PSS 내에서 proton(H⁺) donor로서 작용함으로 인해 PEDOT과 쿨롱힘(coulombic force)에 의해 결합하고 있는 PSS-를 PSSH로 변형 분리함으로서 나타나는 결과인 것으로 사료된다.
- [0107] 도 4b의 (c), (d), 및 (e)는 각각 실시예에 따른 A, B, 및 C의 AFM 이미지로, 도 4a와 비교하였을 때 A 및 B에서 PEDOT:PSS의 코어-셸 구조를 대변하는 밝은 부위의 크기가 현저히 감소하였으며, 그 분포 또한 더욱 균일해질 뿐만 아니라 PEDOT와 PSS의 상분리 및 이로 인한 PEDOT 간의 연결이 촉진된 것을 확인할 수 있었다. 이는 하이드로퀴논의 첨가에 의해 박막 내 전하의 이동을 제한하는 코어-셸 구조를 효과적으로 감소시킬 수 있으며, 이를 통해 PEDOT간의 연속적인 전도성 채널의 형성이 촉진함으로써 투명전극소재의 전기전도도를 효과적으로 상승시킬 수 있음을 의미하는 결과이다.
- [0108] 그러나, 하이드로퀴논의 첨가량이 가장 많은 C의 경우, 오히려 밝은 부위의 크기가 과도하게 증가하고 그 분포

또한 불균일 해지는 경향이 관측되었다. 이를 통해 과도한 환원제의 첨가는 용액 내 환원제의 용해도를 제한시킬 수 있으며, 이로 인한 환원제간 응집이 증가하여 PEDOT:PSS 내 H⁺ donor로써의 역할을 제대로 수행할 수 없어 투명전극소재의 효과를 감소시키는 결과를 나타낼 수 있음을 알 수 있다.

[0110] 결과 3 - 투명전극소재의 흡수 스펙트럼

[0111] 상기 실시예 1 내지 3 및 비교예 1 및 2에 따른 투명전극소재 흡수 스펙트럼을 상기 실험예 3을 통해 확인하였으며, 그 결과를 도 5에 도시하였다.

[0112] 비교예 1에 따른 E의 경우, PSS의 5.5eV와 6.2eV의 높은 에너지대역에서 그래프의 피크가 나타났으며, 1.7eV이하의 가시광선 영역과 IR 영역에서 다소 넓은 흡수 피크가 관찰되었다. 높은 에너지대역에서의 흡수 피크는 PSS의 phenyl moieties에 의한 것이며, 낮은 에너지대역에서의 흡수 피크는 PEDOT의 free carrier에 의한 것으로 볼 수 있다. 비교예 2에 따른 F의 경우, E와 비교하였을 때 유의하게 구분 가능한 정도의 그래프 피크의 변화가 관찰되지 않았다. 이러한 결과는 MeOH의 제한된 H⁺ donating 효과에 따라 PEDOT:PSS의 구조 변화 및 폴리머가 결합의 변화가 미미한 것을 의미하는 것으로 사료된다.

[0113] 반면, 실시예 1 내지 3에 따른 A 내지 C의 경우, 실시예 2에 따른 B에서 PSS 간 강한 π - π 상호작용으로 인해 6.2eV 부근의 PSS의 흡수 피크가 크게 감소됨과 동시에 5.5eV 부근의 흡수 피크는 더욱 높아지며, 1.3~1.5eV 부근의 PEDOT의 흡수 피크 또한 E 및 F 뿐만 아니라 A의 경우와 비교하였을 때도 보다 현저히 높은 피크를 나타내는 것을 확인할 수 있었다.

[0114] 이는 환원제인 하이드로퀴논이 첨가 시 PEDOT과 쿨롱힘(coulombic force)에 의해 결합되어 있던 PSS가 PSSH로 변형 분리됨으로써 PSS 간 π - π 상호작용이 보다 강화되고 이에 따라 상호작용 강화된 π -orbital 내 localized carrier가 상호작용 강화 후 인접 orbital내로 비편재화됨으로써 PSS의 band gap의 감소 효과가 발생하며 이에 따라 높은 에너지 대역인 6.2eV의 peak이 낮은 에너지 영역인 5.5eV로 적색 편이된 결과로 해석된다. PEDOT의 경우에도 PSS의 흡수 피크 변화와 유사한 양상으로 나타났으며, PEDOT의 경우 기존의 PEDOT 1.7eV이하에서 나타난 넓은 흡수 피크가 하이드로퀴논의 첨가 후 낮은 에너지 대역인 1.3~1.5eV 부근에서 상대적으로 증가된 흡수 피크로 변화된 것이 관찰되었다.

[0115] 그러나, C의 경우, 오히려 흡수 스펙트럼이 하이드로퀴논을 첨가하기 전 투명전극소재의 피크와 유사해지는 것을 확인할 수 있었으며, 이에 따라 단순히 다량의 환원제의 첨가가 아닌 제어된 양의 환원제의 첨가에 의해 PEDOT:PSS 박막 형성시 보다 균일하고 연속적인 PEDOT간 전도성 채널 형성이 이루어질 수 있는 것을 알 수 있다.

[0117] 결과 4 - 투명전극소재의 구조 변화 양상 (라만 분광법)

[0118] 상기 실시예 1 내지 3 및 비교예 1 및 2에 따른 투명전극소재의 구조 변화 양상을 상기 실험예 4를 통해 확인하였으며, 그 결과를 도 6에 도시하였다.

[0119] 아무런 처리를 하지않은 E의 경우, C_α-C_α의 inter 신축진동(1272cm⁻¹), C_β-C_β의 신축진동 (1383cm⁻¹)과 C_α=C_β의 대칭진동(1440 cm⁻¹) 위치에서 피크가 측정되었으며, PEDOT:PSS의 코어-셸 구조 내 존재하는 PEDOT의 benzoid 구조가 관측되었다. MeOH이 첨가된 F의 경우 또한 E와 전반적으로 유사한 경향이 관찰됨으로서 PEDOT의 구조 변화에 대한 기여가 미미한 것을 보여주고 있다.

[0120] 하이드로퀴논이 소량 첨가된 A의 경우 또한, 각 피크의 위치가 E와 동일하게 측정됨으로써 기존의 구조인 benzoid 구조가 PEDOT의 주요한 핵심 구조인 것을 알 수 있으며, PEDOT:PSS 내 하이드로퀴논의 양이 불충분하여 제한된 농도의 PSSH가 형성되고, 이로 인해 다수의 PEDOT이 PSS와 결합된 benzoid 구조를 유지하고 있는 것을 알 수 있다.

[0121] 반면, A에 비해 2배의 하이드로퀴논이 첨가된 B의 경우, 최초 benzoid 구조를 나타내는 1440cm⁻¹의 C_α=C_β 피크가 1432cm⁻¹로 편이된 것을 확인할 수 있었다. 이는 PEDOT의 benzoid 구조 내 C_α=C_β 결합이 quinoid 구조의 C_α-C_β 결합으로 변화됨으로써 진동운동이 에너지가 낮은 진동수 영역으로 라만 편이가 발생한 것으로 판단된다.

[0122] 하이드로퀴논이 가장 많이 첨가된 C의 경우, $C_{\alpha}=C_{\beta}$ 피크가 다시 D의 1440cm^{-1} 에 가까운 높은 진동수의 1438cm^{-1} 에서 측정되었다. 이는 PEDOT:PSS와 하이드로퀴논의 반응으로 인해 일부 PEDOT에 대해 quinoid 구조로의 변화가 발생하지만 대부분의 PEDOT이 PSS와 결합된 코어-셸 구조로 존재함으로써 benzoid 구조를 유지하고 있기 때문인 것으로 사료된다.

[0123] 투명전극소재 내 quinoid 구조의 형성은 하기 도 7에서 도시된 바와 같이 이루어진다. 기존의 PEDOT:PSS에 하이드로퀴논을 첨가함으로써 하이드로퀴논의 H^+ 이온과 음전하를 띠는 PSS-의 결합으로 PSSH가 형성되며, PEDOT과 PSS 사이의 쿨롱힘(coulombic force)이 감소하여 PEDOT이 분리되게 된다. 이때 분리되어진 PEDOT이 각각의 폴리머 체인들이 뒤엉켜져 있는 고리형태의 benzoid 구조에서 선형의 quinoid 구조로의 구조 변화가 발생하게 되어 quinoid 구조가 PEDOT의 주된 형성 구조가 되는 것을 알 수 있다.

[0125] 결과 5 - 투명전극소재 내 PEDOT 및 PSS의 비율 (XPS 분석)

[0126] 상기 실시예 1 내지 3 및 비교예 1에 따른 투명전극소재 내 PEDOT 및 PSS의 비율을 상기 실험예 5를 통해 확인하였으며, 그 결과를 도 8에 도시하였다.

[0127] XPS의 결과에 따라 계산된 A, B, C, 및 E의 PEDOT : PSS의 비율을 하기 표 1에 나타내었다. 그 결과, 기존의 PEDOT:PSS인 E의 경우, XPS의 결과에 따라 계산된 PEDOT : PSS의 비율이 1 : 2.5로 나타났으나, 실시예 2에 따른 B의 경우, PEDOT : PSS의 비율이 1 : 2.33으로 나타나 절연체로서 전기전도도의 향상을 저해하는 PSS의 비율이 줄어든 것을 확인할 수 있었다.

표 1

구분	PEDOT : PSS
A	1 : 2.45
B	1 : 2.33
C	1 : 2.47
E	1 : 2.53

[0128]

[0129] 이러한 결과는 하이드로퀴논의 첨가를 통한 전기전도도 향상은 PEDOT과 PSS-H의 분리를 통한 PEDOT의 연속적 채널 형성이 주도적인 메커니즘이며, 박막 내의 PSS의 감소에 의한 전기전도도 향상 효과가 함께 나타나는 것을 의미하는 결과이다.

[0131] 결과 6 - 투명전극소재의 광 투과도

[0132] 상기 실시예 1 내지 3 및 비교예 1 및 2에 따른 투명전극소재의 광 투과도를 비교하기 위하여 상기 실험예 6에 따라 파장에 따른 광투과율을 확인하였으며, 이를 도 9에 도시하였다. 또한, 상기 실험예 6에 따라 면저항을 측정하고 FoM을 산출하여 투명전극소재의 광 투과도를 비교하였다.

[0133] A, B, C, E, 및 F의 550 nm 파장에서의 광투과율을 확인한 결과, 약 94 내지 67의 높은 광투과율을 나타내었으며, 각각의 면저항을 측정한 결과, E는 2.1×10^5 , F는 1.1×10^5 , A는 224.6, B는 223.8, C는 238.4으로 나타났으며, 실시예에 따른 투명전극소재의 면저항이 유의하게 낮은 것을 확인할 수 있었다.

[0134] 측정된 광투과율 및 면저항 값을 이용하여 FoM을 산출하였으며, 그 결과를 하기 표 2에 나타내었다.

표 2

구분	FoM
A	26.9
B	39.6
C	48.9
E	3.8×10^{-2}
F	7.9×10^{-2}

[0135]

[0136] 일반적으로 투명전극소재로서 사용하기 위한 필수 지표로 고려되는 FoM은 상용화 가능수치가 35 이상이며, 본 발명에 따른 B 및 C에서 그 보다 높은 39.6 및 48.9의 수치를 나타낸 반면, 비교예인 E 및 F에서는 매우 낮은 수치를 나타내어 투명전극소재로 활용할 수 없는 것으로 나타났다.

[0137] 이에 따라 환원제의 유무에 따라 투명전극소재로서의 사용 유무가 달라지며, 본 발명을 통해 개발된 환원제 즉, 하이드로퀴논을 통한 PEDOT:PSS의 전기전도도 향상 기술은 향후 PEDOT:PSS의 투명전극으로 활용을 가능하게 할 높은 잠재력을 지닌 기술이 될 것으로 기대된다.

[0139] 결과 7 - 투명전극소재 필름 두께

[0140] 상기 실시예 1 내지 3 및 비교예 1 및 2에 따른 투명전극소재 필름의 두께를 측정하기 위하여 상기 실험예 7를 통해 확인하였으며, 그 결과를 하기 표 3에 나타내었다.

표 3

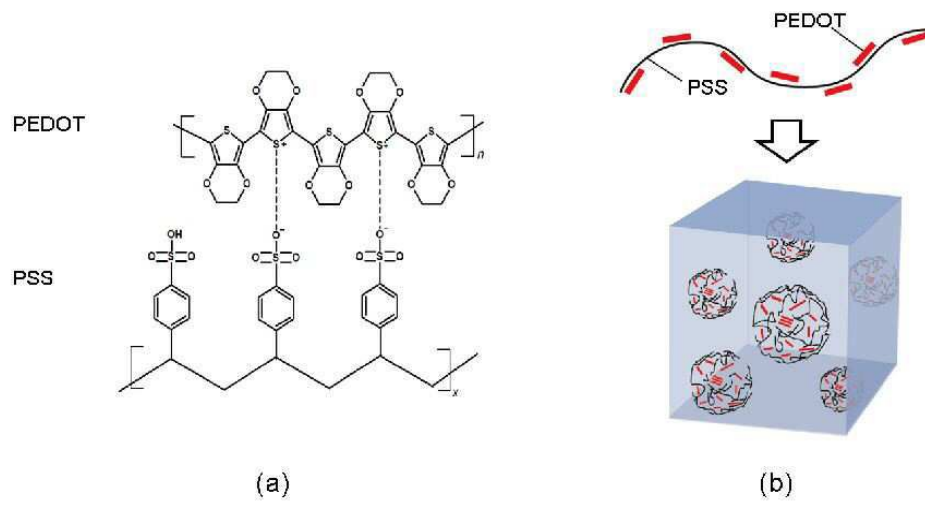
구분	필름 두께 (nm)
A	40.6
B	32.1
C	46.8
E	69.3
F	46.1

[0141]

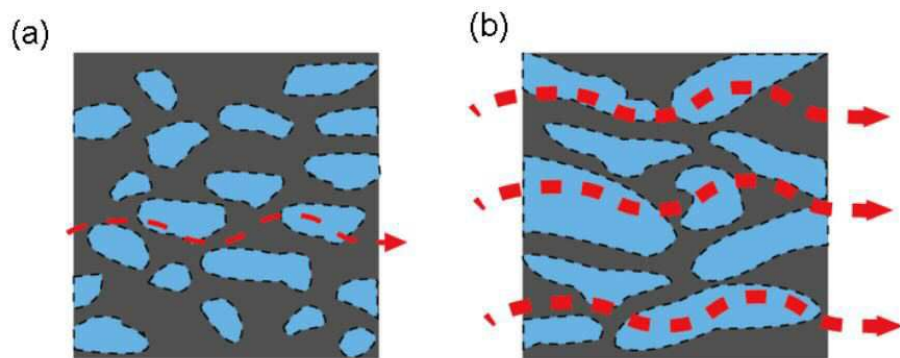
[0142] 이러한 투명전극의 필름두께는 four point probe를 통해 측정된 면저항을 전기전도도로 환산하기 위해 측정되었으며, 그 결과 필름의 두께는 MeOH 첨가 유무, 하이드로 퀴논의 첨가량 변화를 통해 최소 30 nm에서 최대 200 nm 두께 범위까지 조절이 가능함을 확인할 수 있었다.

도면

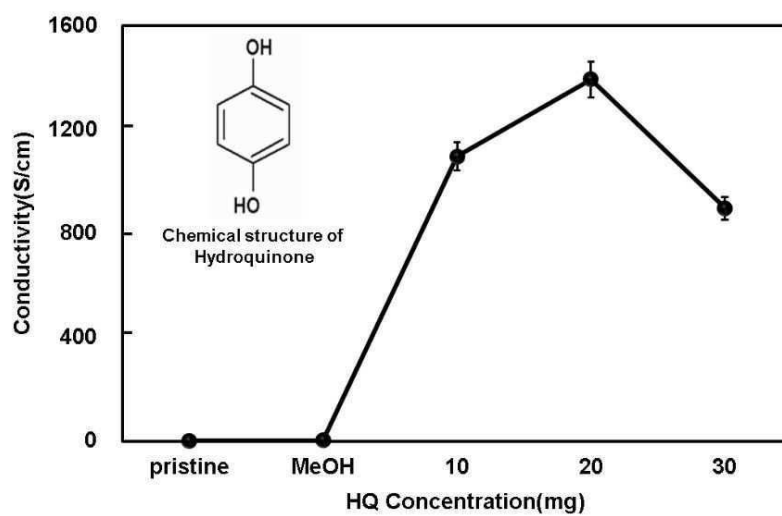
도면1



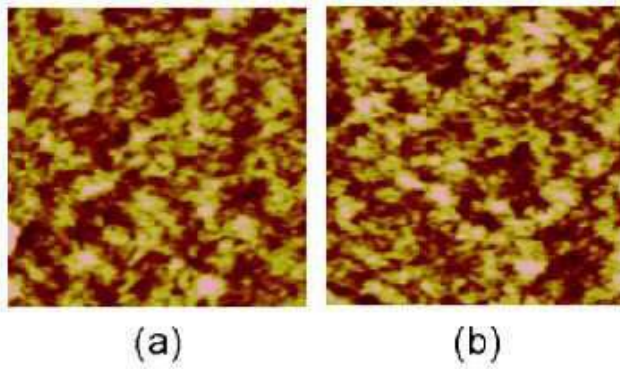
도면2



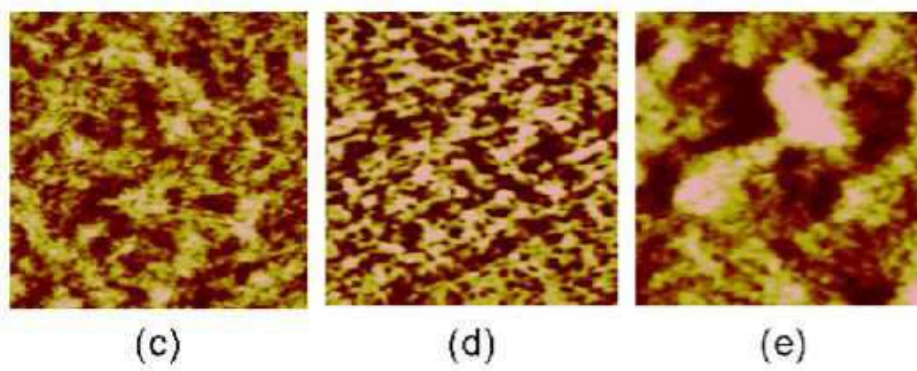
도면3



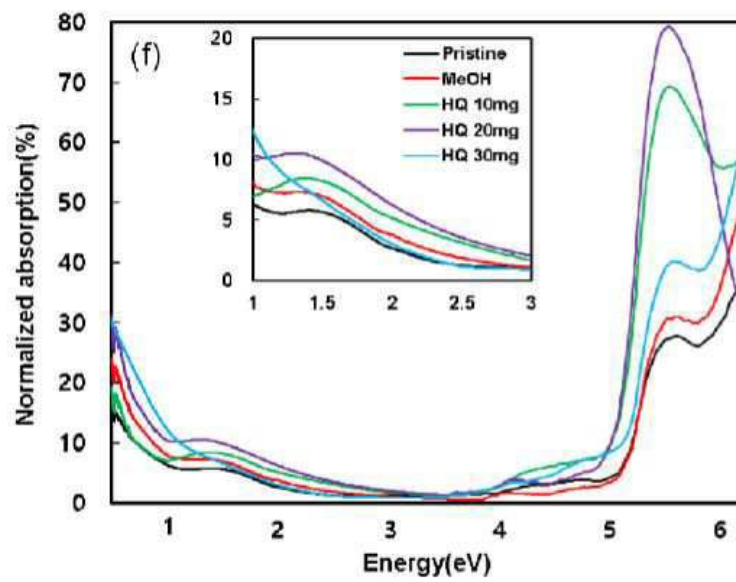
도면4a



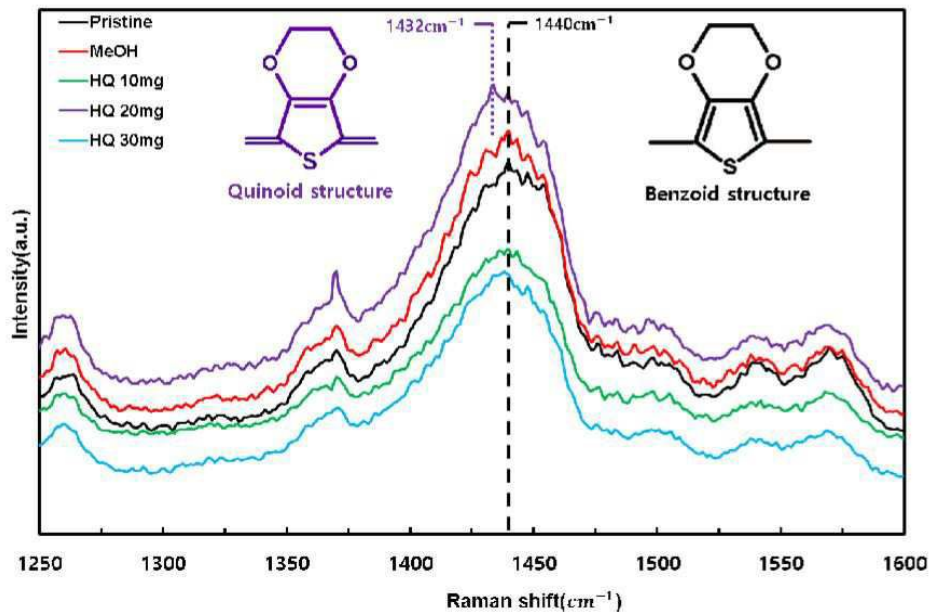
도면4b



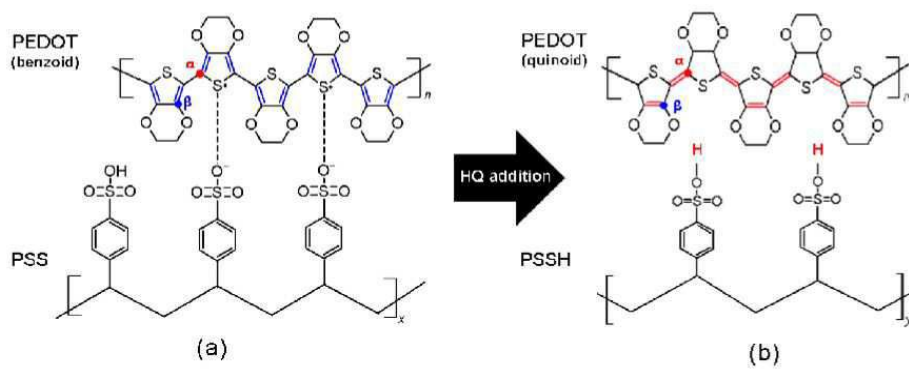
도면5



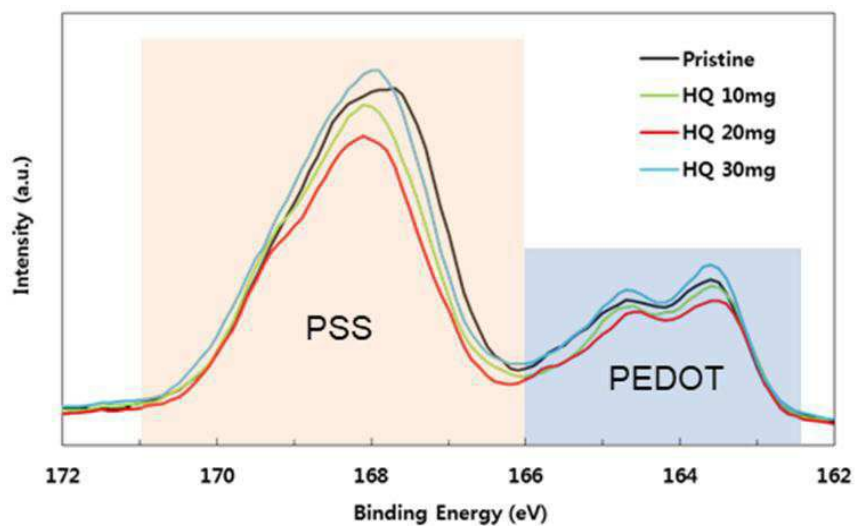
도면6



도면7



도면8



도면9

