



(19) 대한민국특허청(KR)

(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2021년04월21일

(11) 등록번호 10-2242646

(24) 등록일자 2021년04월15일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
H01L 51/42 (2006.01) H01L 51/00 (2006.01)
H01L 51/44 (2006.01)

(52) CPC특허분류
H01L 51/4206 (2013.01)
H01L 51/0003 (2013.01)

(21) 출원번호 10-2020-0054970

(22) 출원일자 2020년05월08일

심사청구일자 2020년05월08일

(56) 선행기술조사문헌

KR101548612 B1*

KR1020130040208 A*

Yinhua Zhou et al., SCIENCE, 336,
327(2012.4.20.)*

*는 심사관에 의하여 인용된 문헌

(73) 특허권자

고려대학교 산학협력단

서울특별시 성북구 안암로 145, 고려대학교 (안암
동5가)

(72) 발명자

심재원

서울특별시 성동구 매봉길 15, 103동 601호(옥수
동, 래미안 옥수 리버젠)

(74) 대리인

박상열, 최내운

전체 청구항 수 : 총 11 항

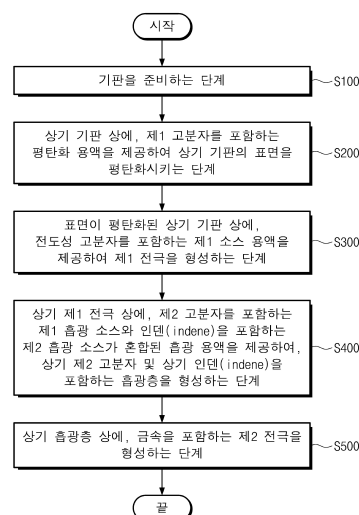
심사관 : 정미나

(54) 발명의 명칭 실내 용도의 유기 광전지 및 그 제조방법

(57) 요약

유기 광전지의 제조방법이 제공된다. 상기 유기 광전지의 제조방법은 기판을 준비하는 단계, 상기 기판 상에, 제1 고분자를 포함하는 평탄화 용액을 제공하여 상기 기판의 표면을 평탄화(planarization)시키는 단계, 표면이 평탄화된 상기 기판 상에, 전도성 고분자를 포함하는 제1 소스 용액을 제공하여 제1 전극을 형성하는 단계, 상기 제1 전극 상에, 제2 고분자를 포함하는 제1 흡광 소스와 인덴(indene)을 포함하는 제2 흡광 소스가 혼합된 흡광 용액을 제공하여, 상기 제2 고분자 및 상기 인덴(indene)을 포함하는 흡광층을 형성하는 단계, 및 상기 흡광층 상에, 금속을 포함하는 제2 전극을 형성하는 단계를 포함할 수 있다.

대표도 - 도1



(52) CPC특허분류

H01L 51/0036 (2013.01)

H01L 51/0037 (2013.01)

H01L 51/0096 (2013.01)

H01L 51/441 (2013.01)

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호	R18XA06-39
과제번호	Q1918941
부처명	한국전력공사 전력연구원
과제관리(전문)기관명	한국전력공사 전력연구원
연구사업명	사외공모 기초연구
연구과제명	광전효율 16 % (White LED 500 lux 기준) 이상의 실내용 유연 유기태양전지
기 여 율	1/1
과제수행기관명	고려대학교 산학협력단
연구기간	2018.05.01 ~ 2021.04.30
공지예외적용	: 있음

명세서

청구범위

청구항 1

기관;

상기 기관 상에 배치되고 전도성 고분자를 포함하는 제1 전극;

상기 제1 전극 상에 배치되는 제2 전극; 및

상기 제1 전극과 상기 제2 전극 사이에 배치되는 흡광층을 포함하고,

상기 전도성 고분자를 포함하는 상기 제1 전극은, ITO(Indium Tin Oxide)를 포함하는 전극보다 면저항(sheet resistance)이 높되,

실내 환경에서, ITO가 상기 제1 전극으로 사용된 유기 광전지보다, 높은 광전 변환 효율을 갖는 것을 포함하는 실내 용도의 유기 광전지.

청구항 2

삭제

청구항 3

제1 항에 있어서,

상기 전도성 고분자는, PEDOT:PSS(poly(3,4-ethylenedioxythiophene) polystyrene sulfonate)를 포함하는 실내 용도의 유기 광전지.

청구항 4

제1 항에 있어서,

상기 기관 및 상기 제1 전극 사이에 배치되고, 상기 기관의 표면을 평탄화(planarization)시키는 버퍼층을 더 포함하는 실내 용도의 유기 광전지.

청구항 5

제4 항에 있어서,

상기 버퍼층은, PVA(Polyvinyl alcohol)을 포함하는 실내 용도의 유기 광전지.

청구항 6

제1 항에 있어서,

상기 흡광층은, LED의 발광 파장 영역과 중첩되는 흡광 파장 영역을 갖는 것을 포함하는 실내 용도의 유기 광전지.

청구항 7

제1 항에 있어서,

상기 흡광층은, P3HT:ICBA(Poly(3-hexylthiophene):indene-C₆₀bisadduct)를 포함하는 실내 용도의 유기 광전지.

청구항 8

제1 항에 있어서,

상기 제1 전극은, 투명하고 플렉시블(flexible)한 것을 포함하는 실내 용도의 유기 광전지.

청구항 9

제1 항에 있어서,

상기 제1 전극 및 상기 흡광층 사이에 배치되는 전자 선택 수송층; 및

상기 제2 전극 및 상기 흡광층 사이에 배치되는 홀 선택 수송층을 더 포함하는 실내 용도의 유기 광전지.

청구항 10

기판을 준비하는 단계;

상기 기판 상에, 제1 고분자를 포함하는 평탄화 용액을 제공하여 상기 기판의 표면을 평탄화(planarization)시키는 단계;

표면이 평탄화된 상기 기판 상에, 전도성 고분자를 포함하는 제1 소스 용액을 제공하여 제1 전극을 형성하는 단계;

상기 제1 전극 상에, 제2 고분자를 포함하는 제1 흡광 소스와 인덴(indene)을 포함하는 제2 흡광 소스가 혼합된 흡광 용액을 제공하여, 상기 제2 고분자 및 상기 인덴(indene)을 포함하는 흡광층을 형성하는 단계; 및

상기 흡광층 상에, 금속을 포함하는 제2 전극을 형성하는 단계를 포함하고,

상기 전도성 고분자를 포함하는 상기 제1 전극은, ITO(Indium Tin Oxide)를 포함하는 전극보다 면저항(sheet resistance)이 높되,

실내 환경에서, ITO가 상기 제1 전극으로 사용된 유기 광전지보다, 높은 광전 변환 효율을 갖는 것을 포함하는 실내 용도의 유기 광전지의 제조방법.

청구항 11

제10 항에 있어서,

상기 제1 전극 형성 단계 이후 상기 흡광층 형성 단계 이전,

상기 제1 전극 상에 제3 고분자를 포함하는 제2 소스 용액을 제공하여 전자 선택 수송층을 형성하는 단계; 및

상기 흡광층 형성 단계 이후 상기 제2 전극 형성 단계 이전,

상기 흡광층 상에 금속 산화물을 포함하는 홀 선택 수송층을 형성하는 단계를 더 포함하는 실내 용도의 유기 광전지의 제조방법.

청구항 12

제10 항에 있어서,

상기 기관의 표면을 평탄화시키는 단계 이후 상기 제1 전극 형성 단계 이전,

표면이 평탄화된 상기 기관을 플라즈마(plasma) 처리하는 단계를 더 포함하는 실내 용도의 유기 광전지의 제조 방법.

발명의 설명

기술 분야

[0001] 본 발명은 실내 용도의 유기 광전지 및 그 제조방법에 관한 것으로서, 보다 구체적으로는 흡광층을 사이에 두고 양쪽에 양전하 수집 전극 및 음전하 수집 전극이 배치되는 실내 용도의 유기 광전지 및 그 제조방법에 관련된 것이다.

배경 기술

[0002] 미국 국립연구소인 NREL의 에너지 리뷰 자료에 따르면 현재 주로 사용되고 있는 에너지원은 석유, 석탄, 가스이다. 이는 전체 사용되고 있는 에너지원의 80 %에 달한다. 그러나, 현재 석유 및 석탄 에너지 고갈 상태가 점차 큰 문제가 되고 있으며, 증가하는 이산화탄소와 다른 온실가스들의 공기 중으로의 배출은 점차 심각한 문제를 발생시키고 있다. 그에 반하여, 무공해 그린 에너지인 재생 에너지의 이용은 아직까지 전체 에너지원의 약 2% 밖에 되지 않는다. 그래서 에너지원의 문제 해결을 위한 고민들은 더욱더 신재생 에너지 개발 연구에 박차를 가하는 계기가 되고 있다. 바람, 물, 태양 등 신재생 에너지 중에서도 가장 관심을 받고 있는 것은 태양에너지이다. 태양에너지를 이용한 태양전지는 공해가 적고, 자원이 무한적이며 반 영구적인 수명을 가지고 있어 미래 에너지 문제를 해결할 수 있는 에너지원으로 기대되고 있다.

[0003] 태양전지는 광기전력효과(photovoltaic effect)를 응용함으로써 태양에너지를 직접 전기에너지로 변환할 수 있는 소자이다. 태양전지는 박막을 구성하는 물질에 따라 무기 태양전지와 유기 태양전지로 나눌 수 있다. 전형적인 태양전지는 무기 반도체인 결정성 실리콘(Si)을 도핑(doping)하여 p-n 접합으로 만든 것이다. 빛을 흡수하여 생기는 전자와 정공은 p-n 접합점까지 확산되고 그 전계에 의하여 가속되어 전극으로 이동한다. 이 과정의 전력 변환 효율은 외부 회로에 주어지는 전력과 태양전지에 들어간 태양전력의 비로 정의되며, 현재 표준화된 가상 태양 조사 조건으로 측정 시 24 %정도까지 달성되었다. 그러나 종래 무기 태양전지는 이미 경제성과 재료상의 수급에서 한계를 보이고 있기 때문에, 가공이 쉬우며 저렴하고 다양한 기능을 가지는 유기 태양전지가 장기적인 대체 에너지원으로 각광받고 있다. 이에 따라, 유기 태양전지와 관련된 다양한 기술들이 연구 개발되고 있다.

[0004] 예를 들어, 대한민국 특허 공개번호 10-2014-0040473(출원번호: 10-2012-0107182, 출원인: 경북대학교 산학협력단)에는, 기관, 상기 기관의 동일 평면 상에 셀 구조로 배열되는 복수의 하부 전극, 상기 하부 전극 상에 형성되는 정공 수집층, 상기 정공 수집층과 동일한 레벨에서 형성되되, 상기 정공 수집층과 교대로 반복 배열되는 전자 수집층, 상기 정공 수집층과 상기 전자 수집층 상에 일체로 형성되는 광 흡수층, 및 상기 광 흡수층의 동일 평면 상에 셀 구조로 배열되는 복수의 상부 전극을 포함하는 평면형 탠덤 유기 태양전지 소자가 개시되어 있다.

선행기술문헌

특허문헌

[0005] (특허문헌 0001) 대한민국 특허 공개번호 10-2014-0040473

발명의 내용

해결하려는 과제

[0006] 본 발명이 해결하고자 하는 일 기술적 과제는, 간단한 공정으로 제조 가능한 실내 용도의 유기 광전지 및 그 제조방법을 제공하는 데 있다.

- [0007] 본 발명이 해결하고자 하는 다른 기술적 과제는, 공정 비용이 절감된 실내 용도의 유기 광전지 및 그 제조방법을 제공하는 데 있다.
- [0008] 본 발명이 해결하고자 하는 또 다른 기술적 과제는, 내구성이 향상된 실내 용도의 유기 광전지 및 그 제조방법을 제공하는 데 있다.
- [0009] 본 발명이 해결하고자 하는 또 다른 기술적 과제는, 저조도(약 1000lux 이하) 실내광 환경에서 전기적 특성 및 기계적 특성이 우수한 실내 용도의 유기 광전지 및 그 제조방법을 제공하는 데 있다.
- [0010] 본 발명이 해결하고자 하는 기술적 과제는 상술된 것에 제한되지 않는다.

과제의 해결 수단

- [0011] 상기 기술적 과제를 해결하기 위해, 본 발명은 실내 용도의 유기 광전지를 제공한다.
- [0012] 일 실시 예에 따르면, 상기 유기 광전지는 기판, 상기 기판 상에 배치되고 전도성 고분자를 포함하는 제1 전극, 상기 제1 전극 상에 배치되는 제2 전극, 및 상기 제1 전극과 상기 제2 전극 사이에 배치되는 흡광층을 포함할 수 있다.
- [0013] 일 실시 예에 따르면, 상기 전도성 고분자를 포함하는 상기 제1 전극은, ITO(Indium Tin Oxide)를 포함하는 전극 보다 면저항(sheet resistance)이 높되, 실내 환경에서, ITO가 상기 제1 전극으로 사용된 유기 광전지보다, 높은 광전 변환 효율을 갖는 것을 포함할 수 있다.
- [0014] 일 실시 예에 따르면, 상기 전도성 고분자는, PEDOT:PSS(poly(3,4-ethylenedioxythiophene) polystyrene sulfonate)를 포함할 수 있다.
- [0015] 일 실시 예에 따르면, 상기 기판 및 상기 제1 전극 사이에 배치되고, 상기 기판의 표면을 평탄화(planarization)시키는 버퍼층을 더 포함할 수 있다.
- [0016] 일 실시 예에 따르면, 상기 버퍼층은, PVA(Polyvinyl alcohol)를 포함할 수 있다.
- [0017] 일 실시 예에 따르면, 상기 흡광층은, LED의 발광 파장 영역과 중첩되는 흡광 파장 영역을 갖는 것을 포함할 수 있다.
- [0018] 일 실시 예에 따르면, 상기 흡광층은, P3HT:ICBA(Poly(3-hexylthiophene):indene-C₆₀bisadduct)를 포함할 수 있다.
- [0019] 일 실시 예에 따르면, 상기 유기 광전지는 상기 제1 전극 및 상기 흡광층 사이에 배치되는 전자 선택 수송층, 및 상기 제2 전극 및 상기 흡광층 사이에 배치되는 홀 선택 수송층을 더 포함할 수 있다.
- [0021] 상기 기술적 과제를 해결하기 위해, 본 발명은 실내 용도의 유기 광전지의 제조방법을 제공한다.
- [0022] 일 실시 예에 따르면, 상기 실내 용도의 유기 광전지의 제조방법은 기판을 준비하는 단계, 상기 기판 상에, 제1 고분자를 포함하는 평탄화 용액을 제공하여 상기 기판의 표면을 평탄화(planarization)시키는 단계, 표면이 평탄화된 상기 기판 상에, 전도성 고분자를 포함하는 제1 소스 용액을 제공하여 제1 전극을 형성하는 단계, 상기 제1 전극 상에, 제2 고분자를 포함하는 제1 흡광 소스와 인덴(indene)을 포함하는 제2 흡광 소스가 혼합된 흡광 용액을 제공하여, 상기 제2 고분자 및 상기 인덴(indene)을 포함하는 흡광층을 형성하는 단계, 및 상기 흡광층 상에, 금속을 포함하는 제2 전극을 형성하는 단계를 포함할 수 있다.
- [0023] 일 실시 예에 따르면, 상기 실내 용도의 유기 광전지의 제조방법은 상기 제1 전극 형성 단계 이후 상기 흡광층 형성 단계 이전, 상기 제1 전극 상에 제3 고분자를 포함하는 제2 소스 용액을 제공하여 전자 선택 수송층을 형성하는 단계, 및 상기 흡광층 형성 단계 이후 상기 제2 전극 형성 단계 이전, 상기 흡광층 상에 금속 산화물을 포함하는 홀 선택 수송층을 형성하는 단계를 더 포함할 수 있다.
- [0024] 일 실시 예에 따르면, 상기 실내 용도의 유기 광전지의 제조방법은 상기 기판의 표면을 평탄화시키는 단계 이후 상기 제1 전극 형성 단계 이전, 표면이 평탄화된 상기 기판을 플라즈마(plasma) 처리하는 단계를 더 포함할 수 있다.

발명의 효과

- [0025] 본 발명의 실시 예에 따른 실내 용도의 유기 광전지의 제조방법은, 기판을 준비하는 단계, 상기 기판 상에, 제1

고분자를 포함하는 평탄화 용액을 제공하여 상기 기판의 표면을 평탄화(planarization)시키는 단계, 표면이 평탄화된 상기 기판 상에, 전도성 고분자를 포함하는 제1 소스 용액을 제공하여 제1 전극을 형성하는 단계, 상기 제1 전극 상에, 제2 고분자를 포함하는 제1 흡광 소스와 인덴(indene)을 포함하는 제2 흡광 소스가 혼합된 흡광 용액을 제공하여, 상기 제2 고분자 및 상기 인덴(indene)을 포함하는 흡광층을 형성하는 단계, 및 상기 흡광층 상에, 금속을 포함하는 제2 전극을 형성하는 단계를 포함할 수 있다. 이에 따라, 저조도 실내광 조건(예를 들어, 1000 lux 이하)에서 광전변환 효율, 전기적 특성, 및 기계적 특성이 향상된 유기 광전지가 제공될 수 있다.

도면의 간단한 설명

[0026]

도 1은 본 발명의 실시 예에 따른 유기 광전지의 제조방법을 설명하는 순서도이다.

도 2 및 도 3은 본 발명의 실시 예에 따른 유기 광전지를 나타내는 도면이다.

도 4는 태양전지 등가 회로 모델을 나타내는 도면이다.

도 5는 본 발명의 실시 예에 따른 유기 광전지의 제조공정에 사용되는 물질들의 화학 구조식을 나타내는 도면이다.

도 6은 본 발명의 실시 예에 따른 유기 광전지의 제조공정에 사용되는 물질들의 에너지 레벨을 나타내는 도면이다.

도 7은 본 발명의 실시 예에 따른 유기 광전지의 사용 예를 나타내는 도면이다.

도 8은 본 발명의 실시 예 및 비교 예에 따른 유기 광전지를 촬영한 사진이다.

도 9 및 도 10은 PVA 버퍼층에 의한 PEN 기판 표면의 거칠기 변화를 비교하는 사진이다.

도 11은 태양광과 LED 램프광을 비교하는 그래프이다.

도 12는 본 발명의 실시 예 및 비교 예에 따른 유기 광전지의 투과도를 비교하는 그래프이다.

도 13은 본 발명의 실시 예 및 비교 예에 따른 유기 광전지의 흡수 밀도 프로파일을 비교하는 도면이다.

도 14 내지 도 16은 본 발명의 실시 예에 따른 유기 광전지가 포함하는 각 구성의 복합 굴절률을 나타내는 그래프이다.

도 17은 본 발명의 실시 예 및 비교 예에 따른 유기 광전지의 전력 흡수를 비교하는 그래프이다.

도 18은 본 발명의 실시 예 및 비교 예에 따른 유기 광전지에 조사되는 광원에 따른 전기적 특성을 비교하는 그래프이다.

도 19는 본 발명의 실시 예 및 비교 예에 따른 유기 광전지의 특성을 비교하는 그래프이다.

도 20은 본 발명의 실시 예 및 비교 예에 따른 유기 광전지의 내구성을 비교하는 그래프이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0027]

이하, 첨부된 도면들을 참조하여 본 발명의 바람직한 실시 예를 상세히 설명할 것이다. 그러나 본 발명의 기술적 사상은 여기서 설명되는 실시 예에 한정되지 않고 다른 형태로 구체화 될 수도 있다. 오히려, 여기서 소개되는 실시 예는 개시된 내용이 철저하고 완전해질 수 있도록 그리고 당업자에게 본 발명의 사상이 충분히 전달될 수 있도록 하기 위해 제공되는 것이다.

[0028]

본 명세서에서, 어떤 구성요소가 다른 구성요소 상에 있다고 언급되는 경우에 그것은 다른 구성요소 상에 직접 형성될 수 있거나 또는 그들 사이에 제 3의 구성요소가 개재될 수도 있다는 것을 의미한다. 또한, 도면들에 있어서, 막 및 영역들의 두께는 기술적 내용의 효과적인 설명을 위해 과장된 것이다.

[0029]

또한, 본 명세서의 다양한 실시 예 들에서 제1, 제2, 제3 등의 용어가 다양한 구성요소들을 기술하기 위해서 사용되었지만, 이들 구성요소들이 이 같은 용어들에 의해서 한정되어서는 안 된다. 이들 용어들은 단지 어느 구성요소를 다른 구성요소와 구별시키기 위해서 사용되었을 뿐이다. 따라서, 어느 한 실시 예에 제 1 구성요소로 언급된 것이 다른 실시 예에서는 제 2 구성요소로 언급될 수도 있다. 여기에 설명되고 예시되는 각 실시 예는 그것의 상보적인 실시 예도 포함한다. 또한, 본 명세서에서 '및/또는'은 전후에 나열한 구성요소들 중 적어도 하

나를 포함하는 의미로 사용되었다.

- [0030] 명세서에서 단수의 표현은 문맥상 명백하게 다르게 뜻하지 않는 한 복수의 표현을 포함한다. 또한, "포함하다" 또는 "가지다" 등의 용어는 명세서상에 기재된 특징, 숫자, 단계, 구성요소 또는 이들을 조합한 것이 존재함을 지정하려는 것이지, 하나 또는 그 이상의 다른 특징이나 숫자, 단계, 구성요소 또는 이들을 조합한 것들의 존재 또는 부가 가능성을 배제하는 것으로 이해되어서는 안 된다. 또한, 본 명세서에서 "연결"은 복수의 구성 요소를 간접적으로 연결하는 것, 및 직접적으로 연결하는 것을 모두 포함하는 의미로 사용된다.
- [0031] 또한, 하기에서 본 발명을 설명함에 있어 관련된 공지 기능 또는 구성에 대한 구체적인 설명이 본 발명의 요지를 불필요하게 흐릴 수 있다고 판단되는 경우에는 그 상세한 설명은 생략할 것이다.
- [0033] 도 1은 본 발명의 실시 예에 따른 실내 용도의 유기 광전지의 제조방법을 설명하는 순서도이고, 도 2 및 도 3은 본 발명의 실시 예에 따른 실내 용도의 유기 광전지를 나타내는 도면이고, 도 4는 태양전지 등가 회로 모델을 나타내는 도면이고, 도 5는 본 발명의 실시 예에 따른 실내 용도의 유기 광전지의 제조공정에 사용되는 물질들의 화학 구조식을 나타내는 도면이고, 도 6은 본 발명의 실시 예에 따른 실내 용도의 유기 광전지의 제조공정에 사용되는 물질들의 에너지 레벨을 나타내는 도면이고, 도 7은 본 발명의 실시 예에 따른 실내 용도의 유기 광전지의 사용 예를 나타내는 도면이다.
- [0034] 도 1 내지 도 6을 참조하면, 기판(100)이 준비된다(S100). 일 실시 예에 따르면, 상기 기판(100)은 플렉시블(flexible)한 기판일 수 있다. 예를 들어, 상기 기판(100)은, 125 μm 두께의 PEN(polyethylene naphthalate) 기판일 수 있다. 또한, 상기 유기 광전지는, 광원으로부터 조사된 광이 상기 기판(100)을 통과하여 후술되는 흡광층(500)에 흡수되므로, 상기 기판(100)은 투명할 수 있다. 상기 기판(100)의 종류는 제한되지 않는다.
- [0035] 상기 기판(100) 상에 버퍼층(200)이 형성될 수 있다(S200). 일 실시 예에 따르면, 상기 버퍼층(200)은 상기 기판(100) 상에 제1 고분자를 포함하는 평탄화 용액이 제공되어 형성될 수 있다. 예를 들어, 상기 제1 고분자는 PVA(Polyvinyl alcohol)를 포함할 수 있다. 보다 구체적으로, 상기 평탄화 용액은, 3.5 gm의 PVA와 100 ml의 DI water가 대기(air) 분위기에서 12 시간동안 혼합되어 형성될 수 있다. 상기 버퍼층(200)은, 상술된 평탄화 용액이 1000 rpm의 속도로 30초 동안 스핀 코팅(spin coating)되어 약 110 nm의 두께로 형성될 수 있다.
- [0036] 상기 버퍼층(200)은 상기 기판(100)의 표면을 평탄화(planarization)시킬 수 있다. 즉, 상기 버퍼층(200)이 형성된 상기 기판(100)의 표면은, 상기 버퍼층(200)이 형성되기 전 상기 기판(100)의 표면보다 거칠기(roughness)가 감소될 수 있다.
- [0037] 기판의 표면 거칠기가 높은 경우, 전자 수집 효율이 감소되므로 유기 광전지의 전기적 특성이 감소될 수 있다. 특히, PEN 기판의 경우, 표면 거칠기가 높음에 따라, 전자 수집 효율이 현저하게 감소되어 유기 광전지의 전력 변환 효율(power conversion efficiency, PCE)이 현저하게 낮아지는 문제점이 발생될 수 있다.
- [0038] 하지만, 상술된 바와 같이, 상기 기판(100) 상에 상기 버퍼층(200)이 형성되는 경우, 상기 버퍼층(200)에 의하여 상기 기판(100)의 표면이 평탄화 될 수 있다. 이에 따라, 표면 거칠기가 다소 높은 PEN 기판을 사용함에도 불구하고, 전자 수집 효율의 감소가 방지되므로, 유기 광전지의 전력 변환 효율(PCE)이 향상될 수 있다.
- [0039] 상기 버퍼층(200)이 형성된 이후, 표면이 평탄화된 상기 기판(100)은 열처리 및 플라즈마(plasma) 처리될 수 있다. 보다 구체적으로, 상기 기판(100)은 150℃의 온도에서 8분 동안 핫 플레이트(hot plate)를 통해 열처리된 후, 3분 동안 플라즈마 처리될 수 있다. 상기 기판(100)이 플라즈마 처리됨에 따라, 상기 기판(100)의 젖음성(wettability)이 향상될 수 있다.
- [0040] 표면이 평탄화된 상기 기판(100) 상에 제1 전극(300)이 형성될 수 있다(S300). 일 실시 예에 따르면, 상기 제1 전극(300)은, 표면이 평탄화된 상기 기판(100) 상에 전도성 고분자를 포함하는 제1 소스 용액이 제공되어 형성될 수 있다. 예를 들어, 상기 전도성 고분자는 PEDOT:PSS(poly(3,4-ethylenedioxythiophene) polystyrene sulfonate)를 포함할 수 있다. 보다 구체적으로, 상기 제1 소스 용액은 5 wt%의 Dimethyl Sulfoxide와 용액 상태의 PEDOT:PSS(PH1000)이 혼합되어 형성될 수 있다. 상기 제1 전극(300)은, 상술된 제1 소스 용액이 1200 rpm의 속도로 30초 동안 스핀 코팅되되, polyvinylidene difluoride 필터를 사용하여 형성될 수 있다. 상기 제1 전극(300)은, 약 120 nm의 두께로 형성될 수 있다. 또한, 상기 제1 전극(300)은 투명하고 플렉시블(flexible)할 수 있다.
- [0041] PEDOT:PSS의 경우, 5.0 eV 이상의 높은 일함수, 850 S/cm 이상의 전도도, 낮은 가격, 및 쉬운 공정 조건 등의 특성으로 인하여 유기 태양전지에서의 사용 가능성이 꾸준히 제기되어 왔다. 하지만, PEDOT:PSS는 ITO(Indium

Tin Oxide)와 비교하여 현저하게 높은 면저항으로 인하여, 상대적으로 두께가 두꺼운 전극으로 사용되지 못하고, 홀 수송층으로 사용되었다.

- [0042] 하지만, 저조도 실내광 조건(예를 들어, 1000 lux 이하)에서 사용되는 유기 태양전지의 경우, 생성되는 전류가 낮으므로 전기적 저항 성분(예를 들어, 전극 저항, 벌크 저항, 면 저항 등)의 영향력이 현저하게 감소되어, PEDOT:PSS가 전극으로서 용이하게 사용될 수 있다.
- [0043] 보다 구체적으로, 유기 태양전지의 등가 회로 모델은, 도 4에 도시된 바와 같이 전류원, 전기적 저항 성분(R_s , 예를 들어, 전극 저항, 벌크 저항 등), 및 전류 누수 성분(R_p , 예를 들어, 캐리어 재결합, 편향 등)으로 구성될 수 있다. 이 경우, 전류원에서 생성되는 전류는 광량에 선형적으로 비례하고, 생성되는 전류가 증가될수록 전기적 저항 성분(R_s)의 영향력이 증가되어, 유기 태양전지의 전기적 특성(예를 들어, 전력 변환 효율)이 감소될 수 있다. 이에 따라, 면 저항이 크고 전도도가 낮은 PEDOT:PSS가 유기 태양전지의 전극으로 사용되는 경우, 유기 태양전지의 전기적 특성(예를 들어, 전력 변환 효율 등)이 현저하게 감소될 수 있다.
- [0044] 이와 달리, 저조도 실내광 조건(1000 lux 이하)에서 사용되는 유기 태양전지의 경우, 생성되는 전류가 상대적으로 적음에 따라, 전기적 저항 성분(R_s)에 대한 영향이 현저하게 감소될 수 있다. 이에 따라, 저조도 실내광 조건(예를 들어, 1000 lux 이하)에서 사용되는 유기 태양전지는 전기적 저항 성분(R_s)보다 전류 누수 성분(R_p)의 영향력이 상대적으로 증가할 수 있다. 이로 인해, ITO와 비교하여 뛰어난 유연성을 갖는 PEDOT:PSS가 저조도 실내광 조건(예를 들어, 1000 lux 이하)에서 유기 태양전지의 전극으로 사용되는 경우, ITO 전극과 비교하여 전류 누수 성분(R_p)이 최소화되므로, 유기 태양전지의 전기적 특성(예를 들어, 전력 변환 효율)이 향상될 수 있다.
- [0045] 상기 제1 전극(300)이 형성된 이후, 상기 제1 전극(300)은 열처리될 수 있다. 예를 들어, 상기 제1 전극(300)이 형성된 상기 기판(100)은, 핫 플레이트(hot plate) 상에서 120℃의 온도로 10분 동안 열처리될 수 있다.
- [0046] 상기 제1 전극(300)이 열처리된 후, 상기 제1 전극(300) 상에 전자 선택 수송층(400)이 형성될 수 있다. 일 실시 예에 따르면, 상기 전자 선택 수송층(400)은, 상기 제1 전극(300) 상에 제3 고분자를 포함하는 제2 소스 용액이 제공되어 형성될 수 있다. 예를 들어, 상기 제3 고분자는 PEIE(polyethylenimine ethoxylate)를 포함할 수 있다. 보다 구체적으로, 상기 제2 소스 용액은 0.4 wt% 농도의 PEIE, 및 2-methoxyethanol이 대기(air) 분위기에서 12시간동안 혼합되어 형성될 수 있다. 상기 전자 선택 수송층(400)은, 상술된 제2 소스 용액이 5000 rpm의 속도로 60초 동안 스핀 코팅되되, 0.2 μm 의 polytetrafluoroethylene 필터를 사용하여 형성될 수 있다. 상기 전자 선택 수송층(400)은 10 nm의 두께로 형성될 수 있다.
- [0047] 상기 전자 선택 수송층(400)이 형성된 이후, 상기 전자 선택 수송층(400)은 열처리될 수 있다. 예를 들어, 상기 전자 선택 수송층(400)은 110℃의 온도에서 10분 동안 열처리될 수 있다.
- [0048] 상기 전자 선택 수송층(400)이 열처리된 후, 상기 전자 선택 수송층(400) 상에 흡광층(500)이 형성될 수 있다 (S400). 일 실시 예에 따르면, 상기 흡광층(500)은, 상기 전자 선택 수송층(400) 상에 흡광 용액이 제공되어 형성될 수 있다. 상기 흡광 용액은, 제2 고분자를 포함하는 제1 흡광 소스와 인덴(indene)을 포함하는 제2 흡광 소스가 혼합되어 제조될 수 있다. 예를 들어, 상기 제2 고분자는 P3HT(Poly(3-hexylthiophene))을 포함할 수 있다. 예를 들어, 상기 제2 흡광 소스는 ICBA(Indene- C_{60} bisadduct)를 포함할 수 있다.
- [0049] 보다 구체적으로, 상기 흡광 용액은, 질소가 충전된 글로브 박스(glove box) 내에서 P3HT 및 ICBA가 혼합된 용액이 45℃의 온도로 1시간 동안 교반되어 형성될 수 있다. 상기 흡광층(500)은, 상술된 흡광 용액이 700 rpm의 속도로 30초 동안 스핀 코팅되어 180 nm 내지 200 nm의 두께로 형성될 수 있다.
- [0050] 일 실시 예에 따르면, 상기 흡광층(500)의 흡광 파장 영역은, LED의 발광 파장 영역과 중첩될 수 있다. 이에 따라, 후술되는 유기 광전지가 LED 실내광 조건에서 사용되는 경우, 상기 흡광층(500)의 흡광 효율이 향상될 수 있다.
- [0051] 상기 흡광층(500)이 형성된 이후, 상기 흡광층(500)은 열처리될 수 있다. 예를 들어, 상기 흡광층(500)은 150℃의 온도에서 10분 동안 열처리될 수 있다.
- [0052] 상기 흡광층(500)이 열처리된 후, 상기 흡광층(500) 상에 금속 산화물을 포함하는 홀 선택 수송층(600)이 형성될 수 있다. 예를 들어, 상기 금속 산화물은 $\text{MoO}_x(x>0)$ 를 포함할 수 있다. 보다 구체적으로, 상기 홀 선택 수송층(600)은, 6.0×10^{-8} hPa 분위기의 열 진공증착기(thermal evaporator system)에서 쉐도우 마스크(shadow

mask)를 통해 약 10 nm 내지 12 nm의 두께로 형성될 수 있다.

[0053] 상기 홀 선택 수송층(600)이 형성된 상기 흡광층(500) 상에 금속을 포함하는 제2 전극(700)이 형성될 수 있다 (S500). 예를 들어, 상기 금속은 은(Ag)을 포함할 수 있다. 보다 구체적으로, 상기 제2 전극(700)은, 6.0×10^{-8} hPa 분위기의 열 진공증착기(thermal evaporator system)에서 섀도우 마스크(shadow mask)를 통해 약 150 nm의 두께로 형성될 수 있다.

[0054] 결과적으로, 본 발명의 실시 예에 따른 유기 광전지는 PEN 기판/PVA 버퍼층/PEDOT:PSS 전극/PEIE 전자 선택 수송층/P3HT:ICBA 흡광층/MoO_x 홀 선택 수송층/Ag 전극의 구조를 가질 수 있다. 상기 유기 광전지는, 1000 lux 이하의 광에 대해 13% 이상의 높은 전력 변환 효율(power conversion efficiency, PCE)를 가질 수 있다. 이에 따라, 상기 유기 광전지는 저조도 실내광 조건(예를 들어, 1000 lux 이하)에서, 용이하게 사용될 수 있다. 예를 들어, 도 7에 도시된 바와 같이, 일반 가정의 블라인드에 적용될 수 있다. 이 밖에도, 상기 유기 광전지는, PEDOT:PSS 전극의 유연성으로 인하여, 다양한 어플리케이션에 용이하게 적용될 수 있다.

[0055] 또한, 본 발명의 실시 예에 따른 유기 광전지는, 상대적으로 가격이 비싼 ITO(Indium Tin Oxide) 대신 상대적으로 가격이 저렴한 전도성 고분자(PEDOT:PSS)가 전극으로 사용됨으로 경제적인 이점이 있을 뿐만 아니라, 용액 공정을 통해 제조됨으로 공정 시간 및 공정 비용이 절감되는 장점이 있다.

[0057] 이상, 본 발명의 실시 예에 따른 유기 광전지 및 그 제조방법이 설명되었다. 이하, 본 발명의 실시 예에 따른 유기 광전지 및 그 제조방법의 구체적인 실험 예 및 특성 평가 결과가 설명된다.

[0058] 실험 예에 따른 유기 광전지 제조 용액 준비

[0059] 3.5 gm의 PVA(Polyvinyl alcohol)와 100 ml의 DI water를 대기(air) 분위기에서 12시간동안 혼합하여 평탄화 용액을 제조하였다. 5 wt%의 Dimethyl Sulfoxide와 용액 상태의 PEDOT:PSS(PH1000)을 혼합하여 제1 소스 용액을 제조하였다. 0.4 wt% 농도의 PEIE 및 2-methoxyethanol을 대기(air) 분위기에서 12시간동안 제2 소스 용액을 제조하였다. 질소가 충전된 글로브 박스(glove box) 내에서 P3HT(Poly(3-hexylthiophene)) 및 ICBA(Indene-C₆₀ bisadduct)가 혼합된 용액을 45℃의 온도로 1시간 동안 교반하여 흡광 용액을 제조하였다.

[0060] 평탄화 용액, 제1 소스 용액, 제2 소스 용액, 및 흡광 용액의 주요 성분이 아래의 <표 1>을 통해 정리된다.

표 1

[0061]	구분	성분
	평탄화 용액	PVA
	제1 소스 용액	PEDOT:PSS(PH1000)
	제2 소스 용액	PEIE
	흡광 용액	P3HT:ICBA

[0062] 실시 예에 따른 유기 광전지 제조

[0063] 125 μm 두께의 PEN(polyethylene naphthalate) 기판 상에 상술된 평탄화 용액, 제1 소스 용액, 제2 소스 용액, 및 흡광 용액을 순차적으로 제공하여, PVA 버퍼층, PEDOT:PSS 전극, PEIE 전자 선택 수송층, 및 P3HT:ICBA 흡광층을 순차적으로 형성시켰다.

[0064] 보다 구체적으로, PVA 버퍼층은 PEN 기판 상에 상술된 평탄화 용액이 1000 rpm의 속도로 30초 동안 스핀 코팅되어 약 110 nm의 두께로 형성되었다. PVA 버퍼층이 형성된 이후, PVA 버퍼층이 형성된 PEN 기판은 150℃의 온도에서 8분 동안 핫 플레이트(hot plate)를 통해 열처리하고, 3분 동안 플라즈마(plasma) 처리되었다.

[0065] PEDOT:PSS 전극은 PVA 버퍼층 상에 상술된 제1 소스 용액이 1200 rpm의 속도로 30초 동안 스핀 코팅되어, 약 120 nm 두께로 형성되었다. 이후, PEDOT:PSS 전극은 120℃의 온도에서 10분 동안 열처리 되었다.

[0066] PEIE 전자 선택 수송층은, 상술된 제2 소스 용액이 5000 rpm의 속도로 60초 동안 스핀 코팅되어, 약 10 nm 두께로 형성되었다.

[0067] P3HT:ICBA 흡광층은, 상술된 흡광 용액이 700 rpm의 속도로 30초 동안 스핀 코팅되어 약 200 nm의 두께로 형성되었다. 이후, P3HT:ICBA 흡광층은 150℃의 온도에서 10분 동안 열처리 되었다.

- [0068] P3HT:ICBA 흡광층이 형성된 이후, P3HT:ICBA 흡광층 상에 12 nm 두께의 MoO_x 홀 선택 수송층 및 150 nm 두께의 Ag 전극을 순차적으로 형성시켰다. 보다 구체적으로, MoO_x 홀 선택 수송층 및 Ag 전극은, 6.0×10^{-8} hPa 분위기의 열 진공증착기(thermal evaporator system)에서 섀도우 마스크(shadow mask)를 통해 형성되었다.
- [0069] 결과적으로, PEN 기판/PVA 버퍼층/PEDOT:PSS 전극/PEIE 전자 선택 수송층/P3HT:ICBA 흡광층/MoO_x 홀 선택 수송층/Ag 전극 구조의 유기 광전지가 제조되었다.
- [0071] 비교 예에 따른 유기 광전지 준비
- [0072] PEN 기판/ITO 전극/PEIE 전자 선택 수송층/P3HT:ICBA 흡광층/MoO_x 홀 선택 수송층/Ag 전극 구조의 유기 광전지가 준비된다.
- [0074] 실시 예에 따른 유기 광전지 및 비교 예에 따른 유기 광전지의 구조가 아래의 <표 2>를 통해 정리된다.

표 2

구분	실시 예	비교 예
기판	PEN	PEN
버퍼층	PVA	-
제1 전극	PEDOT:PSS	ITO
전자 선택 수송층	PEIE	PEIE
흡광층	P3HT:ICBA	P3HT:ICBA
홀 선택 수송층	MoO _x	MoO _x
제2 전극	Ag	Ag

- [0076] 도 8은 본 발명의 실시 예 및 비교 예에 따른 유기 광전지를 촬영한 사진이다.
- [0077] 도 8의 (a)를 참조하면, 상기 실시 예에 따른 유기 광전지의 단면을 광학 촬영하여 나타내었고, 도 8의 (b)를 참조하면, 상기 비교 예에 따른 유기 광전지의 단면을 광학 촬영하여 나타내었다.
- [0078] 도 8의 (a)를 참조하면, 상기 실시 예에 따른 유기 광전지는 PEN 기판/110nm두께의 PVA 버퍼층/120nm두께의 PEDOT:PSS 전극/10nm 두께의 PEIE 전자 선택 수송층/200nm두께의 P3HT:ICBA 흡광층/12nm두께의 MoO_x 홀 선택 수송층/150nm두께의 Ag 전극 구조를 갖는 것을 확인할 수 있었다. 반면, 도 8의 (b)를 참조하면, 상기 비교 예에 따른 유기 광전지는 PEN 기판/390 nm두께의 ITO 전극/10nm 두께의 PEIE 전자 선택 수송층/220nm 두께의 P3HT:ICBA 흡광층/12nm 두께의 MoO_x 홀 선택 수송층/150nm 두께의 Ag 전극 구조를 갖는 것을 확인할 수 있었다.
- [0079] 도 9 및 도 10은 PVA 버퍼층에 의한 PEN 기판 표면의 거칠기 변화를 비교하는 사진이다.
- [0080] 도 9의 (a)를 참조하면, PEN 기판 표면의 RMS roughness를 측정하여 나타내었고, 도 9의 (b)를 참조하면, PEN 기판 상에 PVA 버퍼층이 형성된 경우, PVA 버퍼층이 형성된 PEN 기판 표면의 RMS roughness를 측정하여 나타내었다. 도 9의 (a) 및 (b)에서 확인할 수 있듯이, PVA 버퍼층이 형성되지 않은 PEN 기판 표면의 RMS roughness는 1.22 nm로 나타났고, PVA 버퍼층이 형성된 PEN 기판 표면의 RMS roughness는 0.73 nm로 나타났다. 즉, PVA 버퍼층에 의하여 PEN 기판 표면이 평탄화 되는 것을 알 수 있다.
- [0081] 도 10의 (a)를 참조하면, PEN 기판/PVA 버퍼층/PEDOT:PSS 전극이 형성된 구조체의 RMS roughness를 측정하여 나타내었고, 도 10의 (b)를 참조하면, PEN 기판/ITO 전극이 형성된 구조체의 RMS roughness를 측정하여 나타내었다.
- [0082] 도 10의 (a) 및 (b)에서 확인할 수 있듯이, PEN 기판/PVA 버퍼층/PEDOT:PSS 전극이 형성된 구조체의 RMS roughness는 1.83 nm로 나타났고, PEN 기판/ITO 전극이 형성된 구조체의 RMS roughness는 2.20 nm로 나타났다. 이로 인해, PVA 버퍼층이 PEN 기판의 표면을 평탄화 시킬 수 있음을 확인할 수 있다.
- [0083] 도 11은 태양광과 LED 램프광을 비교하는 그래프이다.
- [0084] 도 11을 참조하면, 태양광(1-Su, Am 1.5G) 및 LED 램프광 각각에 대해 파장에 따른 Irradiance power(W/m²nm)를 측정하여 나타내었다. 도 11에서 확인할 수 있듯이, 태양광과 LED 램프광은 Irradiance power가 현저하게 차이

나는 것을 확인할 수 있었다.

[0085] 또한, 상기 실시 예 및 비교 예에 따른 유기 광전지에 대해, 태양광 환경, 500 lux LED 램프 환경, 및 1000 lux LED 램프 환경에서 각각 전류 밀도를 측정하였고, 이에 대한 결과는 아래의 <표 3>을 통해 정리된다.

표 3

구분	비교 예	실시 예
태양광 (mA/cm^2)	6.9 ± 0.8	6.3 ± 0.5
LED 500lx ($\mu\text{A}/\text{cm}^2$)	37.2 ± 2.2	47.0 ± 0.6

[0087] <표 3>에서 알 수 있듯이, 상기 실시 예에 따른 유기 광전지는 비교 예에 따른 유기 광전지와 비교하여, 태양광 환경에서는 약간 낮은 전류 밀도를 나타내지만, 500 lux LED 램프 환경에서는 현저하게 높은 전류 밀도를 나타내는 것을 확인할 수 있었다.

[0088] 도 12는 본 발명의 실시 예 및 비교 예에 따른 유기 광전지의 투과도를 비교하는 그래프이다.

[0089] 도 12를 참조하면, 상기 실시 예 및 비교 예에 따른 유기 광전지 각각에 대해, 파장(wavelength, nm)에 따른 투과도(transmittance, %)를 측정하여 나타내었다. 도 12에서 확인할 수 있듯이, 400-450nm 구간에서는 실시 예에 따른 유기 광전지의 투과도가 높게 형성되다가, 450nm 이후 구간에서는 비교 예에 따른 유기 광전지의 투과도가 높게 나타나는 것을 확인할 수 있었다.

[0090] 도 13은 본 발명의 실시 예 및 비교 예에 따른 유기 광전지의 흡수 밀도 프로파일을 비교하는 도면이다.

[0091] 도 13의 (a)를 참조하면, 상기 실시 예에 따른 유기 광전지에 대해 finite-difference-time-domain(FDTD) 시뮬레이션을 수행하여, 흡광층의 흡수 밀도 프로파일(absorption density profile)을 나타내었고, 도 13의 (b)를 참조하면, 상기 비교 예에 따른 유기 광전지에 대해 finite-difference-time-domain(FDTD) 시뮬레이션을 수행하여, 흡광층의 흡수 밀도 프로파일(absorption density profile)을 나타내었다. 도 13의 (a) 및 (b)에서 확인할 수 있듯이, 상기 실시 예 및 비교 예에 따른 유기 광전지는, P3HT:ICBA 흡광층을 동일하게 갖지만, 서로 다른 전극(PEDOT:PSS vs ITO)에 의하여 흡광층의 흡수 밀도 프로파일(absorption density profile)이 서로 다르게 나타나는 것을 확인할 수 있었다.

[0092] 도 14 내지 도 16은 본 발명의 실시 예에 따른 유기 광전지가 포함하는 각 구성의 복합 굴절률을 나타내는 그래프이다.

[0093] 도 14의 (a)를 참조하면, 상기 실시 예에 따른 유기 광전지가 포함하는 PVA 버퍼층의 파장(wavelength)에 따른 굴절률(n) 및 소멸 계수(k)를 측정하여 나타내었고, 도 14의 (b)를 참조하면, 상기 실시 예에 따른 유기 광전지가 포함하는 PEDOT:PSS(PH100) 전극의 파장(wavelength)에 따른 굴절률(n) 및 소멸 계수(k)를 측정하여 나타내었다.

[0094] 도 14의 (a)에서 확인할 수 있듯이 PVA 버퍼층은 파장이 증가함에 따라 굴절률(n)이 지속적으로 감소하는 반면, 소멸 계수(k)는 300 nm-400 nm 파장 구간에서 급격하게 감소하고, 이후 실질적으로 일정하게 유지되는 것을 확인할 수 있었다. 도 14의 (b)에서 확인할 수 있듯이, PEDOT:PSS(PH1000) 전극은 파장이 증가함에 따라 굴절률(n)은 증가하고, 소멸 계수(k)는 감소하는 것을 확인할 수 있었다.

[0095] 도 15의 (a)를 참조하면, 상기 실시 예에 따른 유기 광전지가 포함하는 PEIE 전자 선택 수송층의 파장(wavelength)에 따른 굴절률(n) 및 소멸 계수(k)를 측정하여 나타내었고, 도 15의 (b)를 참조하면, 상기 실시 예에 따른 유기 광전지가 포함하는 P3HT:ICBA 흡광층의 파장(wavelength)에 따른 굴절률(n) 및 소멸 계수(k)를 측정하여 나타내었다.

[0096] 도 15의 (a)에서 확인할 수 있듯이 PEIE 전자 선택 수송층은 파장이 증가함에 따라 굴절률(n)이 지속적으로 감소하고, 소멸 계수(k)는 실질적으로 일정하게 유지되는 것을 확인할 수 있었다. 도 15의 (b)에서 확인할 수 있듯이, P3HT:ICBA 흡광층은 파장이 변화됨에 따라 굴절률(n) 및 소멸 계수(k)의 증감이 급격하게 발생하는 것을 확인할 수 있었다.

[0097] 도 16의 (a)를 참조하면, 상기 실시 예에 따른 유기 광전지가 포함하는 MoO_x 홀 선택 수송층의 파장(wavelength)에 따른 굴절률(n) 및 소멸 계수(k)를 측정하여 나타내었고, 도 16의 (b)를 참조하면, 상기 실시

예에 따른 유기 광전지가 포함하는 Ag 전극의 파장(wavelength)에 따른 굴절률(n) 및 소멸 계수(k)를 측정하여 나타내었다.

[0098] 도 16의 (a)에서 확인할 수 있듯이 MoOx 홀 선택 수송층은 300nm-500nm 구간에서 굴절률(n) 및 소멸 계수(k)가 지속적으로 감소하다가, 이후 실질적으로 일정하게 유지되는 것을 확인할 수 있었다. 도 16의 (b)에서 확인할 수 있듯이, Ag 전극은 파장이 증가함에 따라 굴절률(n)이 지속적으로 증가하고, 소멸 계수(k)는 350 nm-450 nm 구간에서 감소되다가, 이후 지속적으로 증가하는 것을 확인할 수 있었다.

[0099] 도 17은 본 발명의 실시 예 및 비교 예에 따른 유기 광전지의 전력 흡수를 비교하는 그래프이다.

[0100] 도 17을 참조하면, 상기 실시 예 및 비교 예에 따른 유기 광전지 각각에 대해 finite-difference-time-domain(FDTD) 시뮬레이터를 사용하여 Absorption density profile을 측정하여 나타내었다. 도 18에서 확인할 수 있듯이, 상기 실시 예에 따른 유기 광전지는, 600 nm 이하의 파장에서 비교 예에 따른 유기 광전지 보다 약간 더 높은 power absorption을 나타내는 것을 확인할 수 있었다.

[0101] 도 18은 본 발명의 실시 예 및 비교 예에 따른 유기 광전지에 조사되는 광원에 따른 전기적 특성을 비교하는 그래프이다.

[0102] 도 18의 (a)를 참조하면, 상기 실시 예 및 비교 예에 따른 유기 광전지 각각에 대해, 태양광(1-sun, 100mW/cm²) 환경에서 전압(mV)에 따른 전류 밀도($\mu\text{A}/\text{cm}^2$)를 측정하여 나타내었다. 도 18의 (a)에서 확인할 수 있듯이, 태양광 환경에서, 전압이 증가함에 따라 실시 예 및 비교 예에 따른 유기 광전지 모두 전류 밀도가 증가하는 것을 알 수 있었다. 또한, 상기 실시 예에 따른 유기 광전지의 전류 밀도가 비교 예에 따른 유기 광전지의 전류 밀도 보다 높게 나타나는 것을 확인할 수 있었다.

[0103] 도 18의 (b)를 참조하면, 상기 실시 예 및 비교 예에 따른 유기 광전지 각각에 대해, 500 lux LED 램프 환경(500-lx LED, 0.17mW/cm²) 환경에서 전압(mV)에 따른 전류 밀도($\mu\text{A}/\text{cm}^2$)를 측정하여 나타내었다. 도 18의 (b)에서 확인할 수 있듯이, 500 lux LED 램프 환경에서, 전압이 증가함에 따라 실시 예 및 비교 예에 따른 유기 광전지 모두 전류 밀도가 증가하는 것을 알 수 있었다. 또한, 0~550 mV 구간에서는 비교 예에 따른 유기 광전지의 전류 밀도가 더 높게 나타나지만, 550 mV 이상 구간에서는 실시 예에 따른 유기 광전지의 전류 밀도가 더 높게 나타나는 것을 확인할 수 있었다.

[0104] 도 19는 본 발명의 실시 예 및 비교 예에 따른 유기 광전지의 특성을 비교하는 그래프이다.

[0105] 도 19의 (a)를 참조하면, 상기 실시 예 및 비교 예에 따른 유기 광전지 각각에 대해, 굽힘(bending) 테스트를 수행하고, 굽힘 횟수(bending cycles)에 따른 면저항(RSH, Ω/sq)을 측정하여 나타내었다. 도 19의 (a)에서 확인할 수 있듯이, 상기 실시 예에 따른 유기 광전지는, 굽힘 횟수가 증가함에도 불구하고 면저항(RSH)이 실질적으로 일정하게 유지되는 것을 확인할 수 있었다. 반면, 상기 비교 예에 따른 유기 광전지는, 굽힘 횟수가 증가함에 따라 면저항(RSH)이 급격하게 증가하는 것을 확인할 수 있었다.

[0106] 도 19의 (b)를 참조하면, 상기 실시 예 및 비교 예에 따른 유기 광전지 각각에 대해, 파장에 따른 외부 양자 효율(external quantum efficiency, EQE %)을 측정하여 나타내었다. 도 19의 (b)에서 확인할 수 있듯이, 상기 실시 예에 따른 유기 광전지는 비교 예에 따른 유기 광전지 보다 외부 양자 효율(EQE, %)이 높게 나타나는 것을 확인할 수 있었다.

[0107] 도 20은 본 발명의 실시 예 및 비교 예에 따른 유기 광전지의 내구성을 비교하는 그래프이다.

[0108] 도 20의 (a)를 참조하면, 상기 실시 예에 따른 유기 광전지에 대해 굽힘(bending) 테스트를 수행하고, 굽힘 횟수(bending cycles)에 따른 V_{oc} (open-circuit voltage), J_{sc} (maximum extractable short-circuit current density), FF(fill factor), PCE(power conversion efficiency)를 측정하여 나타내었고, 도 20의 (b)를 참조하면, 상기 비교 예에 따른 유기 광전지에 대해 굽힘(bending) 테스트를 수행하고, 굽힘 횟수(bending cycles)에 따른, V_{oc} , J_{sc} , FF, PCE를 측정하여 나타내었다.

[0109] V_{oc} 는 아래의 <수학식 1>을 통해 계산되었고, J_{sc} 는 아래의 <수학식 2>를 통해 계산되었고, FF는 아래의 <수학식 3>을 통해 계산되었다.

[0110] <수학식 1>

$$V_{OC} = n \frac{kT}{e} \ln \left\{ 1 + \frac{J_{ph}}{J_o} \left(1 - \frac{V_{OC}}{J_{ph} R_p A} \right) \right\}$$

[0111]

[0112] (T: 온도, k: 볼츠만 상수, A: 흡광층 면적, R_p: shunt resistance, J_{ph}: photocurrent density)

[0114] <수학식 2>

$$J_{sc} = \frac{1}{1 + \frac{R_s}{R_p}} \left\{ J_{ph} - J_o \left(\exp \left(\frac{|J_{sc}| R_s A}{n k T} \right) - 1 \right) \right\}$$

[0115]

[0116] (T: 온도, k: 볼츠만 상수, A: 흡광층 면적, R_s: series resistance, R_p: shunt resistance, J₀: photo-generated current density)

[0118] <수학식 3>

$$FF = \left\{ \frac{V_{OC} - \ln(V_{OC} + 0.72)}{V_{OC} + 1} \right\} (1 - 1.1r_s) + 0.19r_s^2$$

$$\left\{ 1 - \frac{(V_{OC} + 0.7)}{V_{OC}} \frac{\left\{ \frac{V_{OC} - \ln(V_{OC} + 0.72)}{V_{OC} + 1} \right\} (1 - 1.1r_s) + 0.19r_s^2}{r_{sh}} \right\}$$

$$\left(0 \leq r_s + \frac{1}{r_{sh}} \leq 0.4 \right)$$

[0119]

[0120] (r_s: normalized series resistance, r_{sh}: sheet resistance)

[0122] 도 20의 (a) 및 (b)에서 확인할 수 있듯이, 상기 실시 예에 따른 유기 광전지는 굽힘 횟수가 증가함에도 불구하고 V_{oc}, J_{sc}, FF, PCE 값이 실질적으로 일정하게 유지되었지만, 비교 예에 따른 유기 광전지는 굽힘 횟수가 증가함에 따라 V_{oc}, J_{sc}, FF, PCE 값이 감소하는 것을 확인할 수 있었다. 이에 따라, PEDOT:PSS 전극을 포함하는 유기 광전지는 ITO 전극을 포함하는 유기 광전지 보다 내구성이 우수함을 알 수 있다.

[0123] 또한, 상기 실시 예 및 비교 예에 따른 유기 광전지 각각에 대해 500-lx LED(0.17 mW/cm²) 환경 및 태양광(1-sun, 100mW/cm²) 환경에서 전기적 특성을 측정하였다. 500-lx LED(0.17 mW/cm²) 환경에서 측정된 결과는 아래의 <표 4>를 통해 정리되고 태양광(1-sun, 100mW/cm²) 환경에서 측정된 결과는 아래의 <표 5>를 통해 정리된다.

표 4

[0124]

구분	실시 예	비교 예
V _{oc} (mV)	618 ± 1	649 ± 3
J _{sc} (μ A/cm ²)	47.0 ± 0.6	37.2 ± 2.2
FF(%)	64.7 ± 0.2	60.3 ± 0.2
PCE(%)	11.1 ± 0.1	8.8 ± 0.1
R _p · A(Ω · cm ²)	(1.9 ± 0.3) x 10 ⁵	(1.7 ± 0.2) x 10 ⁵
R _s · A(Ω · cm ²)	58 ± 3	15 ± 3

표 5

[0125]

구분	실시 예	비교 예
$V_{oc}(mV)$	638 ± 24	826 ± 2
$J_{sc}(\mu A/cm^2)$	$(6.3 \pm 0.2) \times 10^3$	$(6.9 \pm 0.3) \times 10^3$
FF(%)	37.2 ± 1.0	37.4 ± 0.8
PCE(%)	1.5 ± 0.1	2.3 ± 0.3
$R_p \cdot A(\Omega \cdot cm^2)$	$(2.3 \pm 0.3) \times 10^2$	$(2.6 \pm 0.3) \times 10^2$
$R_s \cdot A(\Omega \cdot cm^2)$	88 ± 12	42 ± 3

[0126]

<표 4> 및 <표 5>를 통해 알 수 있듯이, 실시 예 및 비교 예에 따른 유기 광전지는, 태양광 환경보다 500-lux LED 환경에서 전력 변환 효율(PCE)이 더 높게 나타나는 것을 확인할 수 있었다. 또한, PEDOT:PSS 전극이 사용된 실시 예에 따른 유기 광전지는, ITO 전극이 사용된 비교 예에 따른 유기 광전지 보다, 500-lux LED 환경에서 전력 변환 효율(PCE)이 더 높게 나타나는 것을 확인할 수 있었다.

[0127]

상기 실시 예 및 비교 예에 따른 유기 광전지 각각에 대해 1000-lx LED($0.28 mW/cm^2$) 환경에서 전기적 특성을 측정하였고, 이는 아래의 <표 6>을 통해 정리된다.

표 6

[0128]

구분	실시 예	비교 예
$V_{oc}(mV)$	646 ± 1	675 ± 1
$J_{sc}(\mu A/cm^2)$	92.1 ± 0.4	72.9 ± 1.8
FF(%)	63.2 ± 0.1	58.3 ± 0.4
PCE(%)	13.4 ± 0.1	10.2 ± 0.2
$R_{sh} \cdot A(\Omega \cdot cm^2)$	$(1.0 \pm 0.1) \times 10^5$	$(8.2 \pm 0.3) \times 10^4$
Max Power Density($\mu W/cm^2$)	37.9 ± 0.2	30.2 ± 0.5

[0129]

<표 6>에서 확인할 수 있듯이, 상기 실시 예에 따른 유기 광전지는 1000-lx LED($0.28 mW/cm^2$) 환경에서 13% 이상의 높은 전력 변환 효율(PCE)을 나타내는 것을 확인할 수 있었다. 이에 따라, 상기 실시 예에 따른 유기 광전지는, 1000 lux 이하의 광이 조사되는 실내 환경에서 용이하게 사용될 수 있음을 알 수 있다.

[0130]

상기 PVA 버퍼층이 생략된 실시 예에 따른 유기 광전지 및 비교 예에 따른 유기 광전지 각각에 대해, 500-lx LED($0.17 mW/cm^2$) 환경에서 전기적 특성을 측정하였고, 이는 아래의 <표 7>을 통해 정리된다.

표 7

[0131]

구분	실시 예 (without PVA)	비교 예
$V_{oc}(mV)$	401 ± 93	649 ± 3
$J_{sc}(\mu A/cm^2)$	1.9 ± 0.7	37.2 ± 2.2
FF(%)	20.3 ± 0.1	30.3 ± 0.2
PCE(%)	0.1 ± 0.0	8.8 ± 0.0
$R_{sh} \cdot A(\Omega \cdot cm^2)$	$(1.5 \pm 0.3) \times 10^5$	$(1.7 \pm 0.2) \times 10^5$
Max Power Density($\mu W/cm^2$)	0.2 ± 0.1	14.6 ± 0.8

[0132]

<표 7>에서 알 수 있듯이, PVA 버퍼층이 생략된 경우, 전력 변환 효율(PCE)이 거의 나타나지 않는 것을 확인할 수 있었다. 이에 따라, PEDOT:PSS 전극을 포함하는 유기 광전지를 제조하는 경우, PEN 기판과 PEDOT:PSS 전극

사이에 PVA 버퍼층을 형성하여, PEN 기판의 표면이 평탄화 되어야 함을 알 수 있다.

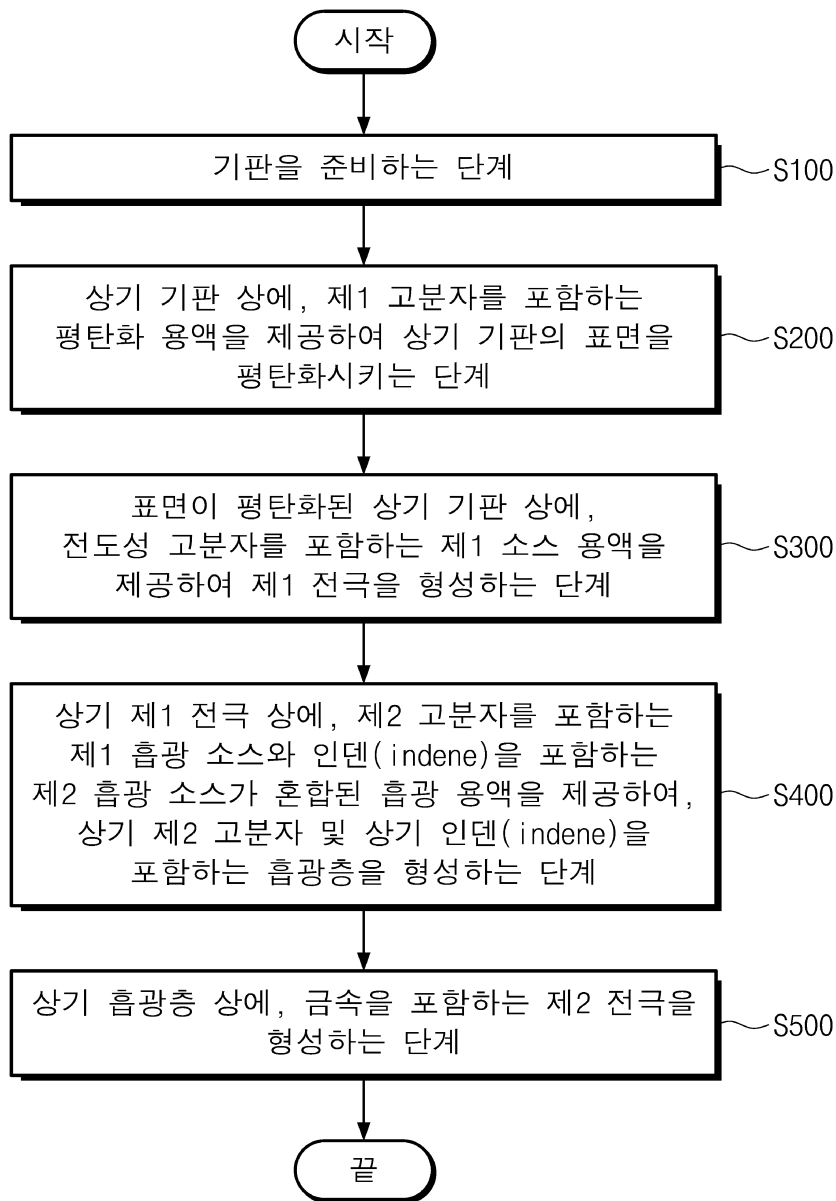
[0134] 이상, 본 발명을 바람직한 실시 예를 사용하여 상세히 설명하였으나, 본 발명의 범위는 특정 실시 예에 한정되는 것은 아니며, 첨부된 특허청구범위에 의하여 해석되어야 할 것이다. 또한, 이 기술분야에서 통상의 지식을 습득한 자라면, 본 발명의 범위에서 벗어나지 않으면서도 많은 수정과 변형이 가능함을 이해하여야 할 것이다.

부호의 설명

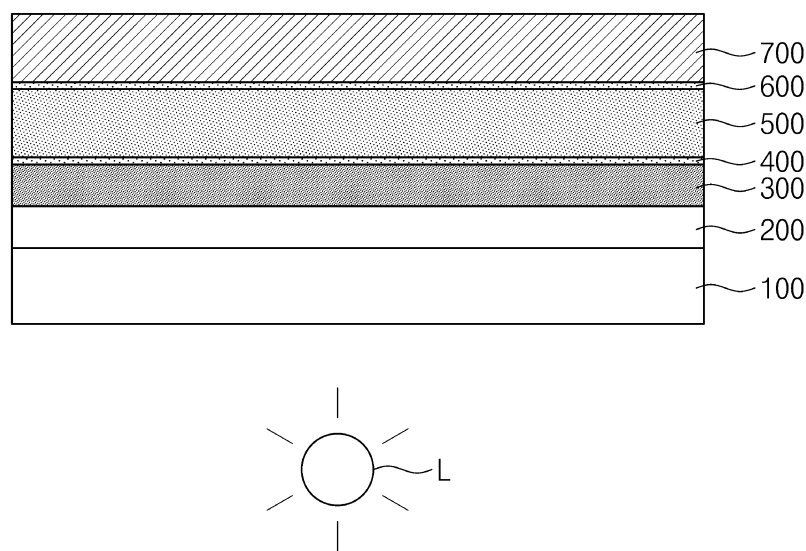
[0135] 100: 기판
200: 버퍼층
300: 제1 전극
400: 전자 선택 수송층
500: 흡광층
600: 홀 선택 수송층
700: 제2 전극

도면

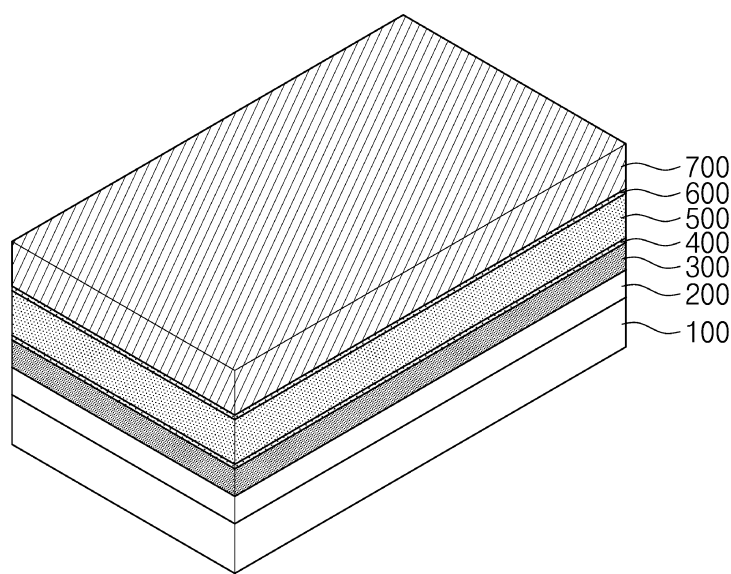
도면1



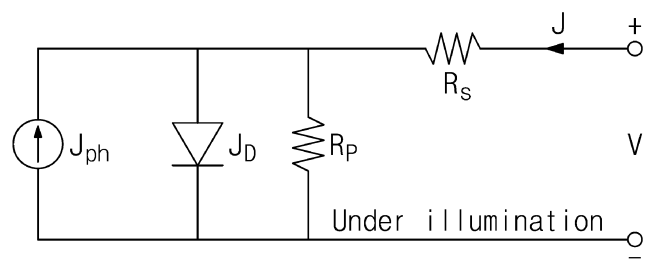
도면2



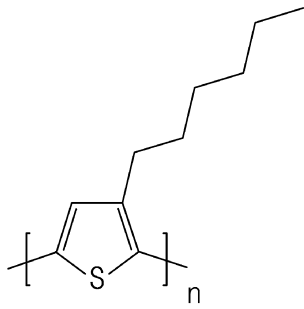
도면3



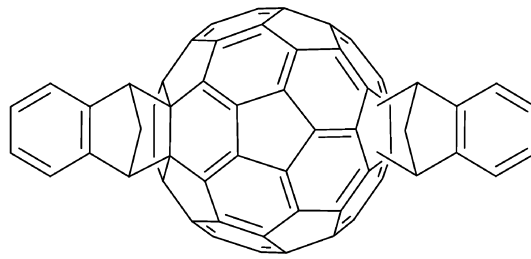
도면4



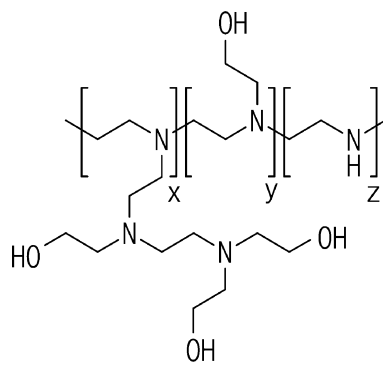
도면5



Poly(3-hexylthiophene)
(P3HT)

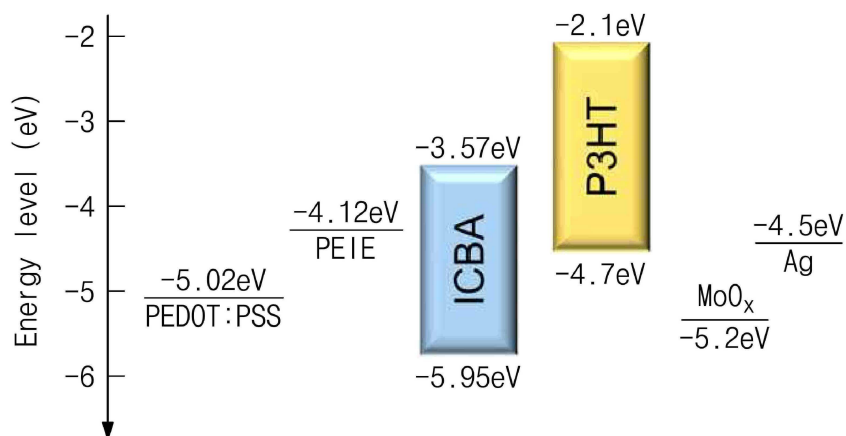


Indene-C₆₀ bisadduct
(ICBA)

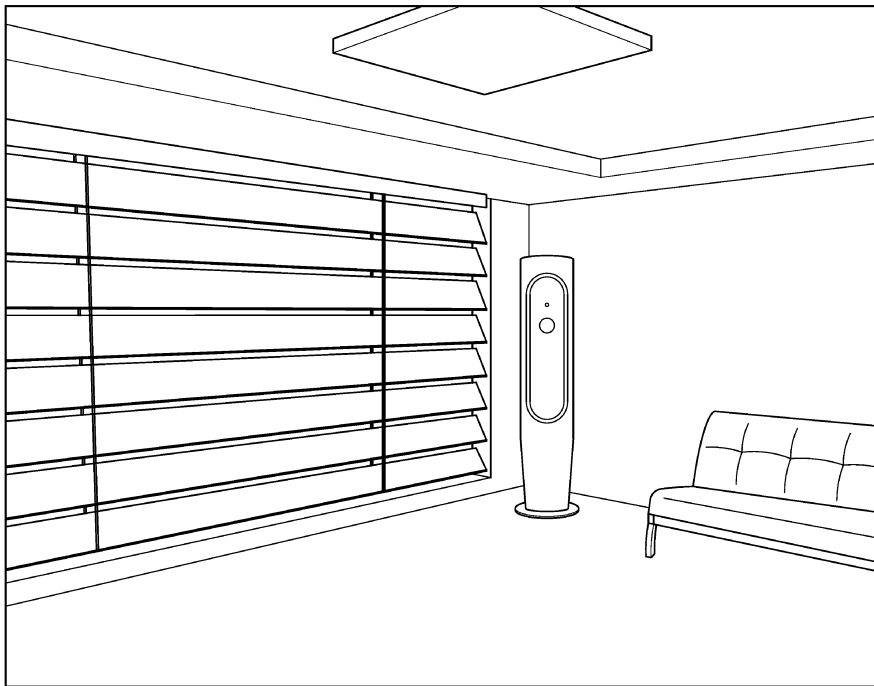


Polyethylenimine
(PEIE)

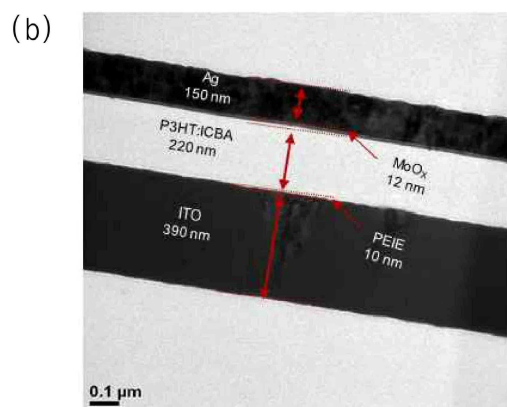
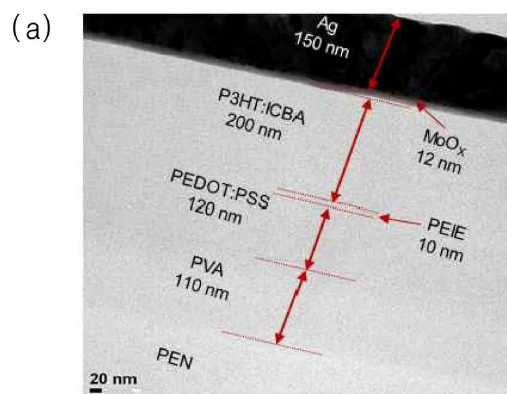
도면6



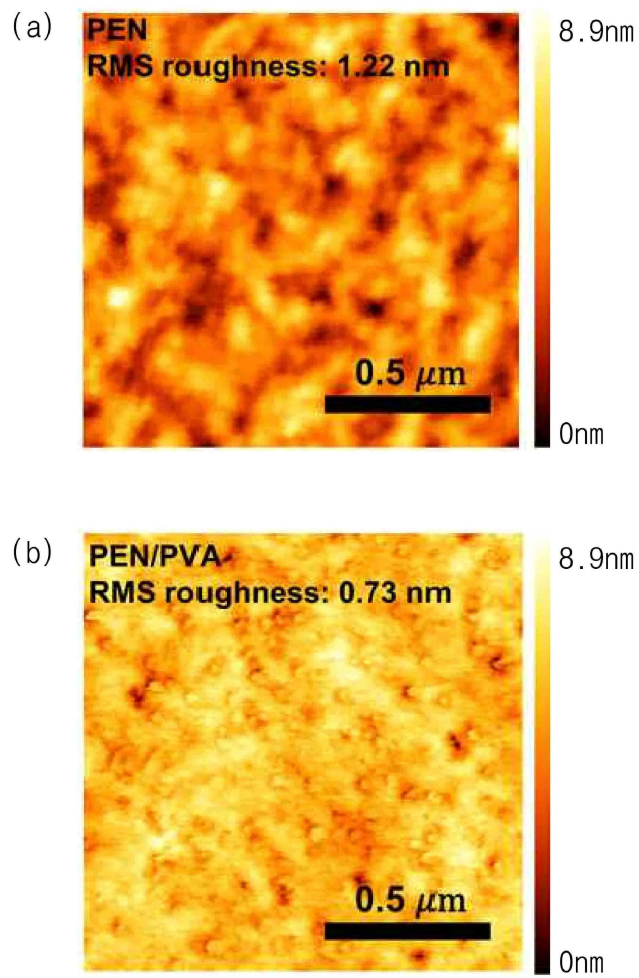
도면7



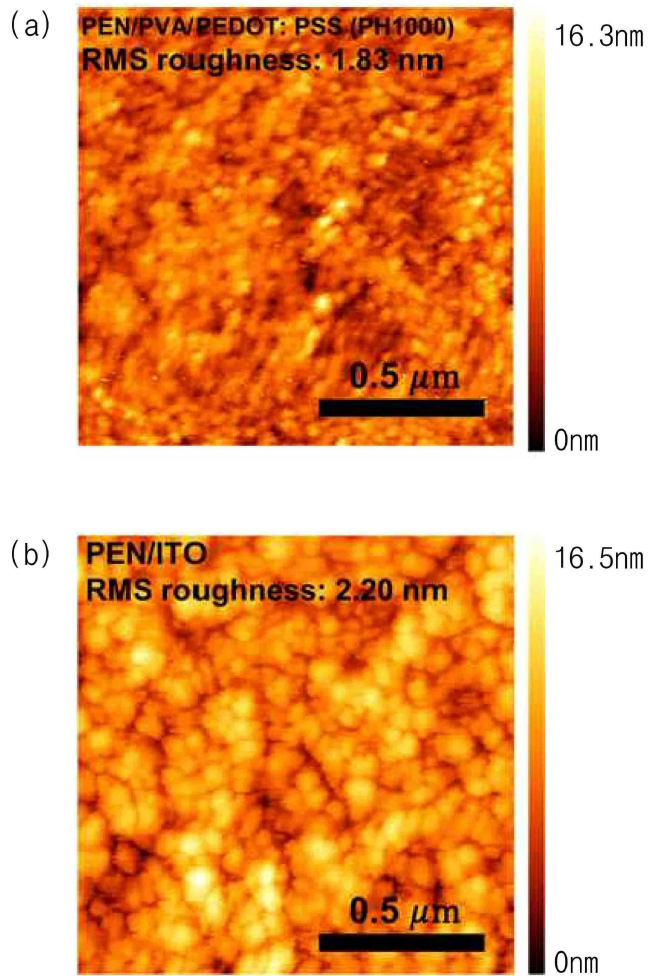
도면8



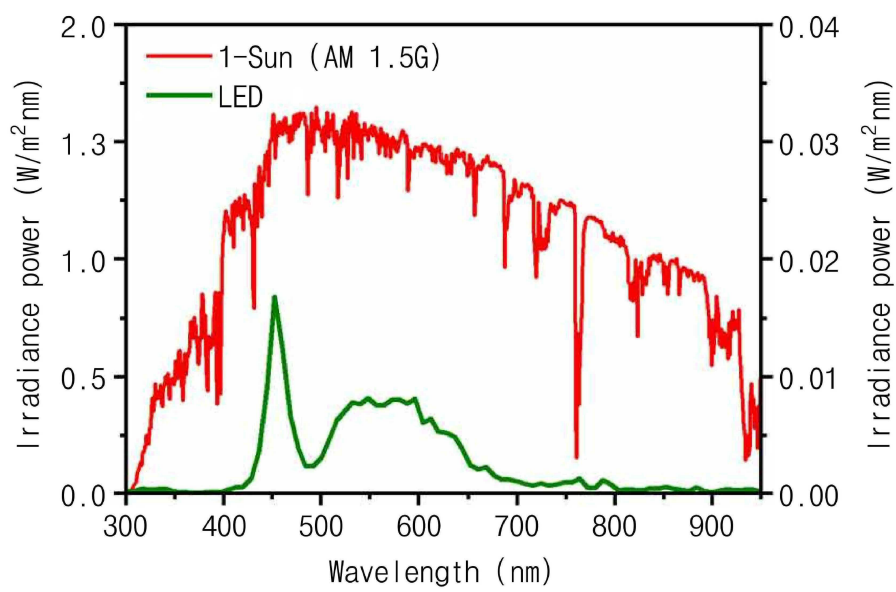
도면9



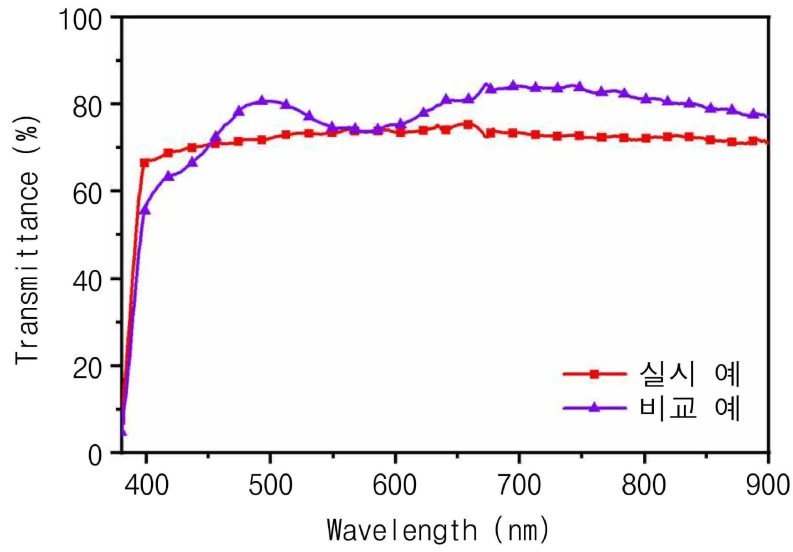
도면10



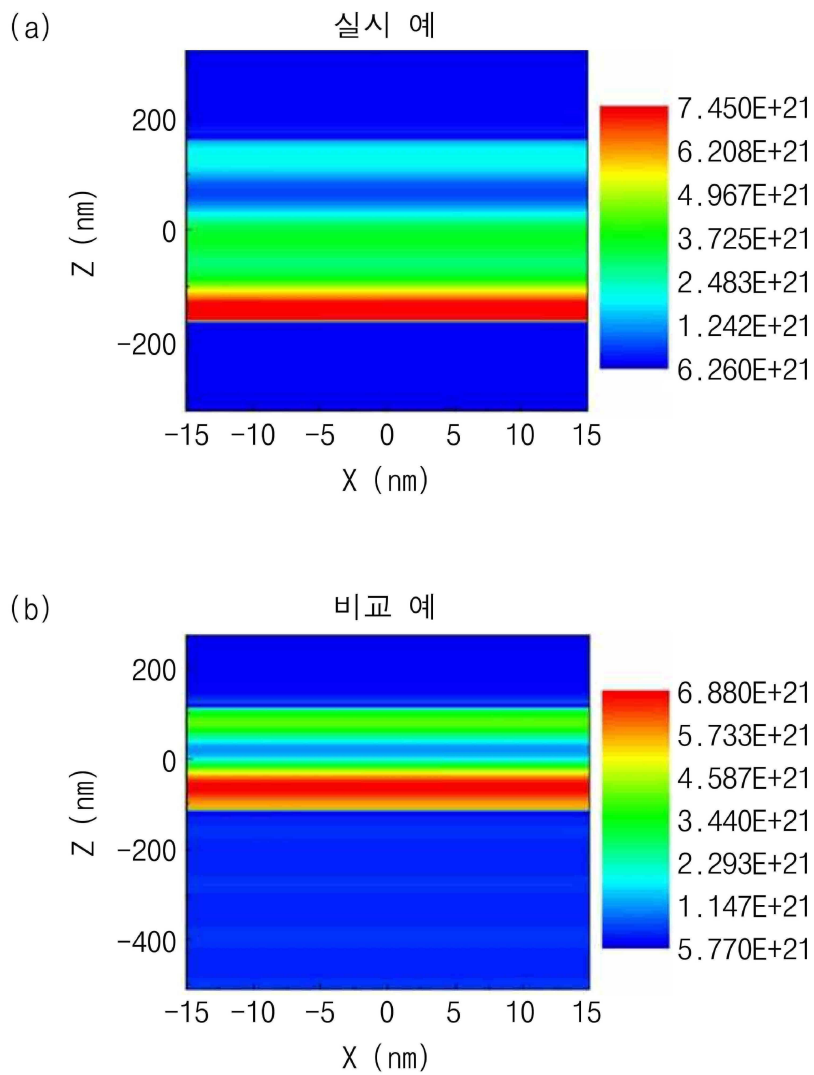
도면11



도면12

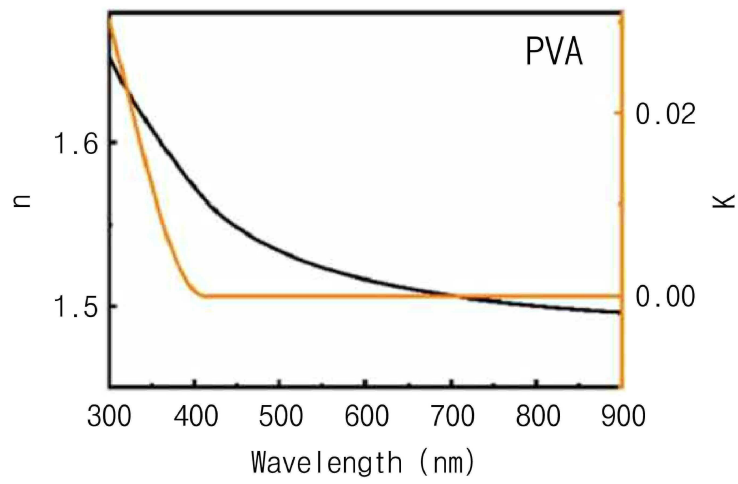


도면13

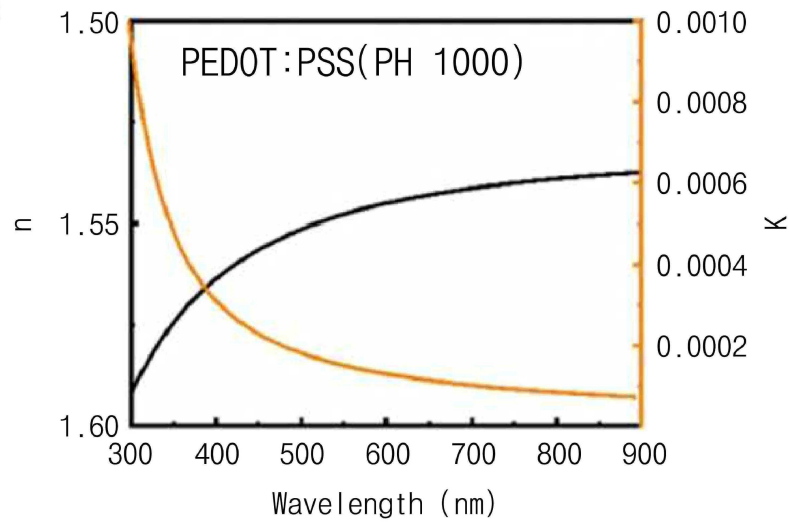


도면14

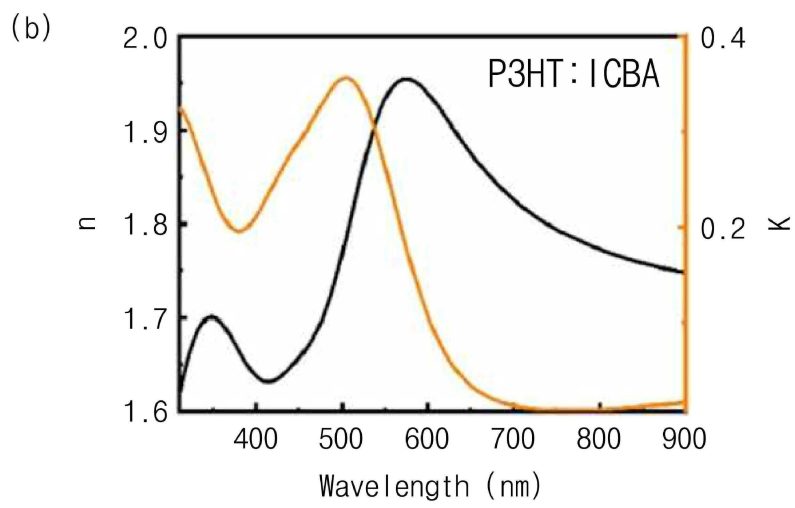
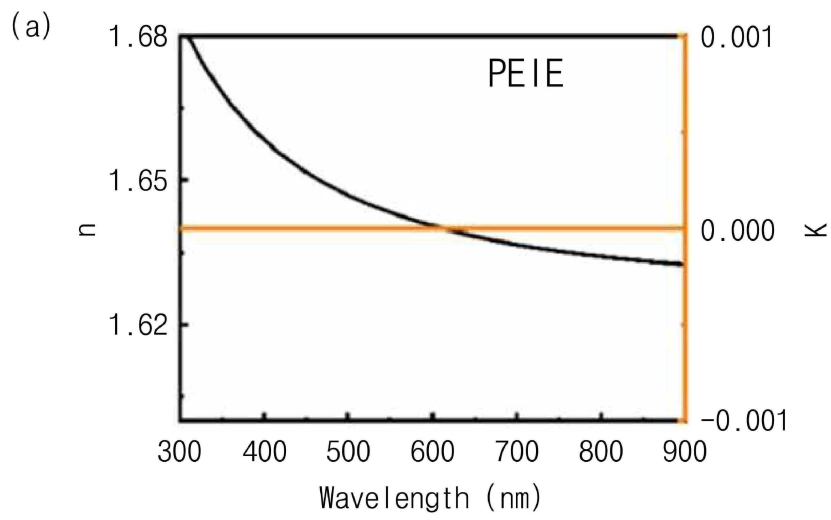
(a)



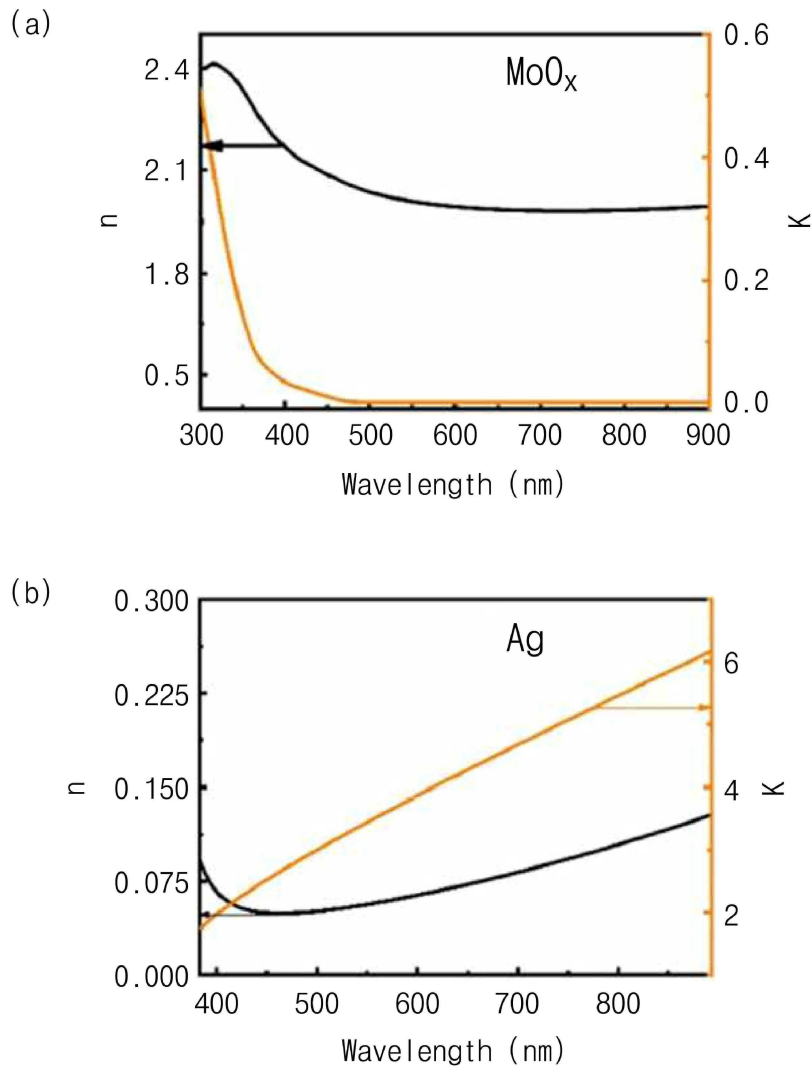
(b)



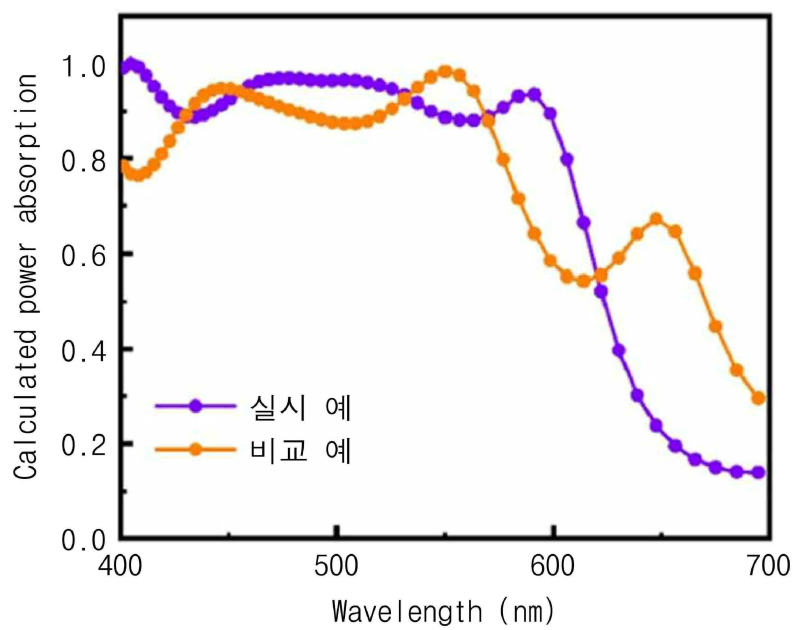
도면15



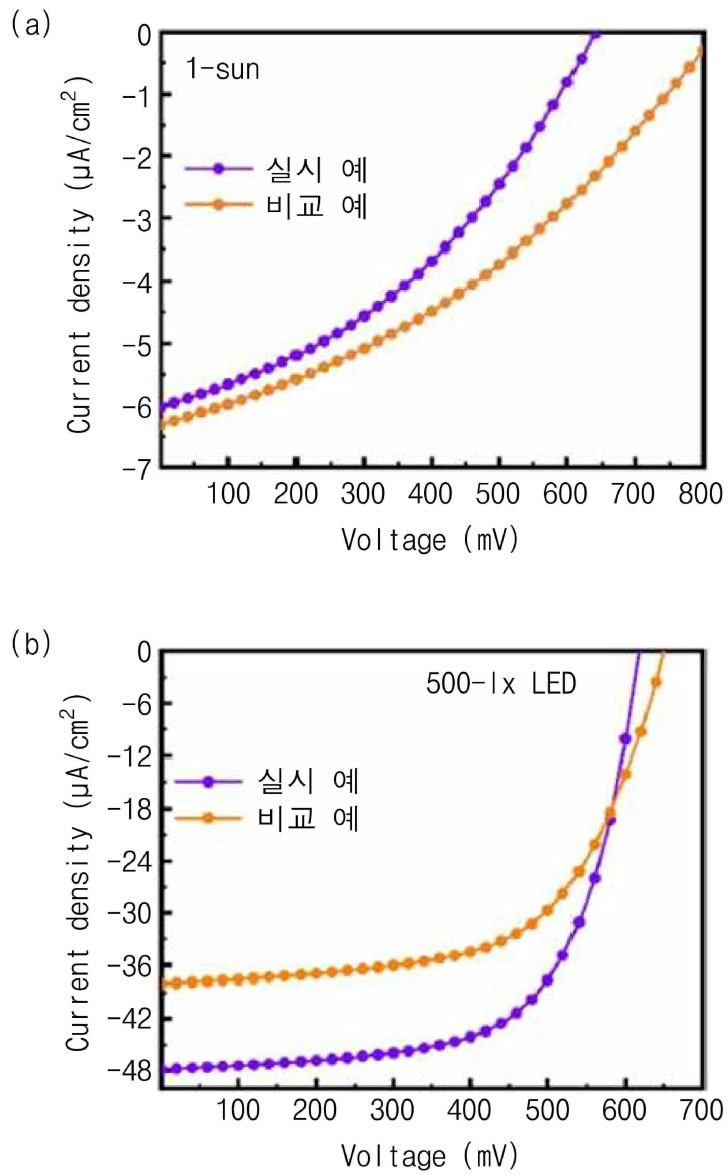
도면16



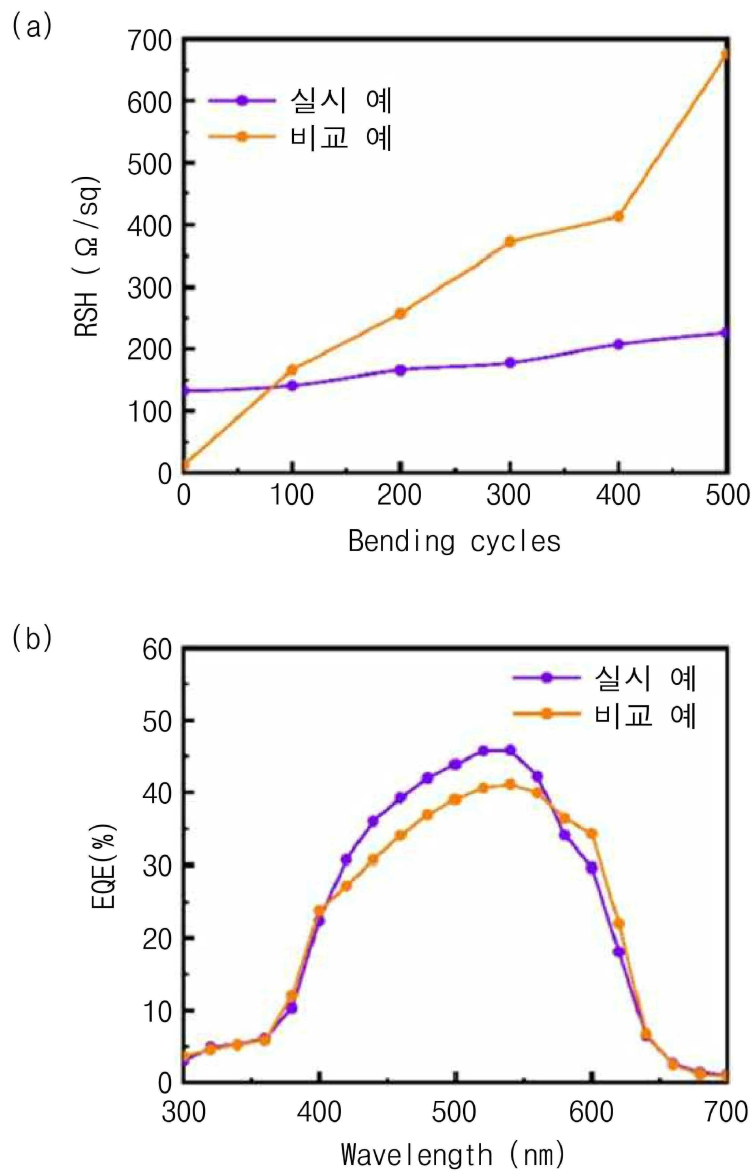
도면17



도면18



도면19



도면20

