



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2023-0175019
(43) 공개일자 2023년12월29일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)

H01L 31/18 (2006.01) H01L 31/0224 (2006.01)

(52) CPC특허분류

H01L 31/18 (2021.01)

H01L 31/022425 (2013.01)

(21) 출원번호 10-2022-0076386

(22) 출원일자 2022년06월22일

심사청구일자 2022년06월22일

(71) 출원인

울산과학기술원

울산광역시 울주군 언양읍 유니스트길 50

(72) 발명자

권태혁

울산광역시 울주군 언양읍 유니스트길 50 울산과학기술원

김광민

울산광역시 울주군 언양읍 유니스트길 50 울산과학기술원

(74) 대리인

오위환, 나성곤, 정기택

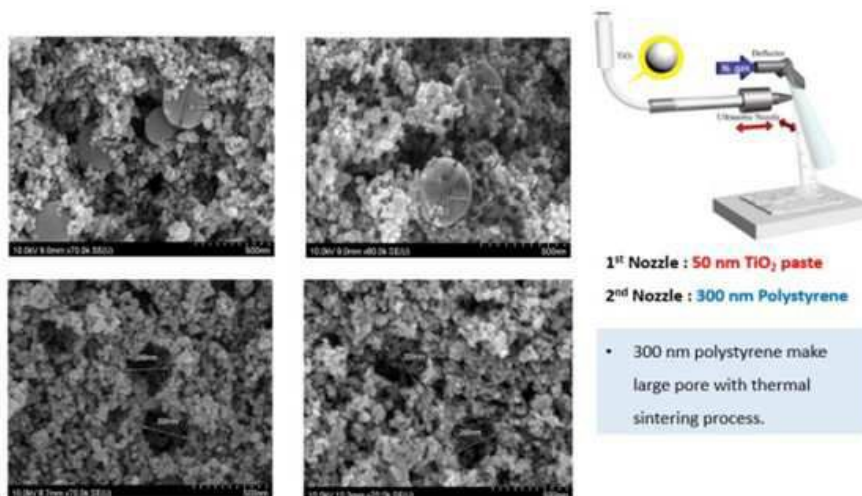
전체 청구항 수 : 총 6 항

(54) 발명의 명칭 초음파 스프레이 증착 기술을 활용한 염료감응형 태양전지 TiO₂ 전극 및 이의 제조방법

(57) 요약

본 발명은 초음파 스프레이 증착(Ultrasonic spray deposition) 기술을 활용하여 제조된 다공성 TiO₂ 필름에 시금치(Spinach) 추출 광계 1(Photosystem 1)을 흡착시킨 TiO₂ 전극 및 이를 제조하는 방법에 관한 것이다.

대표도 - 도1



(52) CPC특허분류
Y02E 10/542 (2020.08)

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호	1711153804
과제번호	2017M3A7B4052802
부처명	과학기술정보통신부
과제관리(전문)기관명	한국연구재단
연구사업명	나노소재기술개발
연구과제명	자연광수확시스템 하이브리드 광전극 및 태양광 소자 개발
기 여 율	1/1
과제수행기관명	연세대학교
연구기간	2022.01.01 ~ 2022.06.30

명세서

청구범위

청구항 1

폴리스티렌(Polystyrene) 및 이산화 타이타늄(TiO_2)를 듀얼 노즐을 통해 동시에 초음파 분사하여 필름을 제조하는 단계;

상기 필름을 고온 열처리하여 상기 폴리스티렌을 제거하여 다공극성 TiO_2 필름을 제조하는 단계; 및

상기 다공극성 TiO_2 필름의 공극에 염료인 광계 1을 흡착시켜 TiO_2 전극을 제조하는 단계;를 포함하는 것을 특징으로 하는, 초음파 스프레이 증착 기술을 활용한 염료감응형 태양전지 TiO_2 전극의 제조방법.

청구항 2

제1항에 있어서, 상기 폴리스티렌 입자의 크기는 100 내지 300 nm이고, 상기 TiO_2 입자의 크기는 30 내지 50 nm이며, 서로 상이한 크기의 입자를 이용하여 공극의 크기 및 염료의 흡착량을 제어하는 것을 특징으로 하는, 초음파 스프레이 증착 기술을 활용한 염료감응형 태양전지 TiO_2 전극의 제조방법.

청구항 3

제1항에 있어서, 상기 광계 1은 시금치(Spinacia oleracea)로부터 추출된 것을 특징으로 하는, 초음파 스프레이 증착 기술을 활용한 염료감응형 태양전지 TiO_2 전극의 제조방법.

청구항 4

제1항에 있어서, 상기 필름은 500 내지 600 $^{\circ}\text{C}$ 에서 열처리하여 필름 내부의 폴리스티렌과 이산화 타이타늄을 소각함으로써 공극이 형성되는 것을 특징으로 하는, 초음파 스프레이 증착 기술을 활용한 염료감응형 태양전지 TiO_2 전극의 제조방법.

청구항 5

다공극성 이산화 타이타늄(TiO_2) 필름; 및

상기 필름 내 공극에 흡착된 시금치 추출 광계 1;로 구성되는 것을 특징으로 하는, 초음파 스프레이 증착 기술을 활용한 염료감응형 태양전지 TiO_2 전극.

청구항 6

제5항에 따른 TiO_2 전극을 포함하는 염료감응형 태양전지.

발명의 설명

기술 분야

[0001] 본 발명은 초음파 스프레이 증착(Ultrasonic spray deposition) 기술을 활용하여 제조된 다공성 TiO_2 필름에 시금치(Spinach) 추출 광계 1(Photosystem 1)을 흡착시킨 TiO_2 전극 및 이를 제조하는 방법에 관한 것이다.

배경 기술

[0002] 최근 에너지의 수요가 증가함에 따라, 환경친화적인 태양전지에 대한 다양한 연구가 진행되고 있다.

[0003] 그러나, 실리콘 태양전지는 Si의 제작 단가가 높아 원재료 수급 문제가 있으며, 전지 효율이 상당히 부족한바, 이를 해결하기 위한 노력으로 1991년 스위스 국립 로잔 고등기술원(EPEL)의 마이클 그라첼 박사 연구팀에 의해

개발된 염료감응형 태양전지(dye-sensitized solar cell, DSSC)에 대한 관심이 증가하고 있다.

- [0004] 염료감응형 태양전지는 가시광선의 빛에너지를 흡수하여 전자-홀 쌍(electron-hole pair)을 생성하는 메커니즘으로, 감광성 염료 분자 및 생성된 전자를 전달하는 전이금속 산화물을 주된 구성 재료로 하며, 기존의 실리콘 태양전지에 비해 제조 단가가 저렴하고, 투명한 특성으로 인해 건물 외벽 유리창이나 유리 온실 등에 응용이 가능하다는 이점이 있다. 염료감응형 태양전지의 발전에 있어서 높은 다공성의 나노 크기의 결정성 필름이 매우 중요한 역할을 한다. TiO_2 필름은 염료의 흡착을 극대화 할 수 있는 높은 내부 표면적과 함께 광학적으로 투명성이 뛰어나기 때문에 현재까지 가장 많이 쓰이고 있다
- [0005] 또한, 이러한 염료감응형 태양전지는 광감응체 염료(dye sensitizer)가 안정성과 광전환효율을 결정하는 중요한 인자이다. 그러나, 종래 사용한 금속 착화합물계 염료는 금속을 포함하여 친환경적이지 못하고 제조 단가가 상대적으로 높은 문제점이 있었다.
- [0006] 한편, 염료감응형 태양전지는 TiO_2 페이스트를 제조한 후, 이를 FTO 기판 위에서 스크린 프린팅 방법을 통해 필름 제작 후 밤새 건조 및 소결하고, TiO_2 필름을 유기 염료가 녹아 있는 용액 속에 침지시켜 유기 염료가 TiO_2 필름 속으로 흡착이 되도록 하여 제작한다.
- [0007] 상기와 같은 제조 방법에 의하면, 침지 처리를 통해 이산화 타이타늄 전극의 염료의 양을 제어하는 것도 매우 어렵다. 예를 들어, TiO_2 에 더 적은 양의 염료는 저 전류 밀도를 야기하고, TiO_2 에 너무 많은 염료는 자기 담금질에 따른 디바이스의 성능의 감소를 야기할 수 있다.
- [0008] 특히, 광계단백질과 같은 큰 사이즈를 갖는 단백질 기반 염료들은 일반적으로 제작되는 전극 위에 흡착시키기에 염료 자체의 흡착능력이 떨어지고 전극 내 공극(pore)의 사이즈가 작아, 흡착이 더욱 불리한 부분이 있어 이에 대한 개선이 필수적인 상황이다.
- [0009] 그러나, 이러한 공정 과정의 한계점들을 대체할 수 있는 플렉시블 염료감응 태양 전지 장치에 대한 연구 또는 대체 공정이 없었다.
- [0010] 따라서, 이러한 문제점을 해결할 수 있는 새로운 제조 방법에 대한 연구가 필요한 실정이다.

선행기술문헌

특허문헌

- [0011] (특허문헌 0001) 한국등록특허 제10-1515820호

발명의 내용

해결하려는 과제

- [0012] 본 발명은 상기와 같은 종래 기술의 문제점을 해결하기 위한 것으로,
- [0013] 본 발명의 목적은 듀얼 노즐 시스템을 이용하여 폴리스티렌(Polystyrene)과 TiO_2 를 동시에 분사함으로써 TiO_2 필름 내부 공극의 크기를 제어하고, 공극의 크기 변화에 따라 염료의 흡착량을 조절할 수 있는 태양전지를 제공하는 것이다.

과제의 해결 수단

- [0014] 한편으로, 본 발명은
- [0015] 폴리스티렌(Polystyrene) 및 이산화 타이타늄(TiO_2)를 듀얼 노즐을 통해 동시에 초음파 분사하여 필름을 제조하는 단계;
- [0016] 상기 필름을 고온 열처리하여 상기 폴리스티렌을 제거하여 다공극성 TiO_2 필름을 제조하는 단계; 및
- [0017] 상기 다공극성 TiO_2 필름의 공극에 염료인 광계 1을 흡착시켜 TiO_2 전극을 제조하는 단계;를 포함하는 것을 특징

으로 하는, 초음파 스프레이 증착 기술을 활용한 염료감응형 태양전지 TiO_2 전극의 제조방법을 제공한다.

발명의 효과

- [0018] 본 발명에 따른 TiO_2 필름은 듀얼 노즐 시스템을 활용한 초음파 스프레이 공정을 통해 필름 내 공극 크기를 제어할 수 있으며, 이에 따라 크기가 커 TiO_2 필름에 흡착되는 양의 조절이 불가능했던 종래 기술과 달리, 간단한 공정에 의해 염료의 흡착량 조절이 가능하다는 장점이 있다.
- [0019] 또한, 본 발명에 따른 TiO_2 필름은 플렉시블(flexible) 특성을 나타낼 수 있고, 대면적으로 제조될 수 있다.
- [0020] 본 발명에 따른 TiO_2 전극은 천연식물 유래 광계 1 염료를 사용하여 친환경적일 뿐만 아니라, 우수한 전류 효율을 나타낼 수 있다.
- [0021] 또한, 본 발명에 따른 TiO_2 전극은 장시간 염료를 흡착하여야 하는 종래의 기술에 비하여 스프레이를 이용하여 분사하는 방법을 이용함으로써, 디바이스 제작 시간을 획기적으로 단축할 수 있다.

도면의 간단한 설명

- [0022] 도 1은 본 발명의 일 실시예에 따른 필름의 주사 전자 현미경(SEM) 이미지 및 초음파 스프레이의 이미지를 나타낸 것이다(상-폴리스티렌이 삽입된 필름, 하-고온 열처리 이후의 필름).
- 도 2는 본 발명의 일 실시예에 따른 필름을 공초점 레이저(Confocal Laser) 현미경으로 분석한 결과를 나타낸 것이다.
- 도 3은 본 발명의 일 실시예에 따라 제조된 필름을 나타낸 것이다.
- 도 4는 본 발명의 일 실시예에 따른 태양전지 소자로 계산기를 구동하는 모습을 나타낸 것이다.
- 도 5는 본 발명의 일 실시예에 따른 광계 1(photosystem 1)의 UV-vis 흡광 결과를 나타낸 것이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

- [0023] 이하, 본 발명을 보다 상세히 설명한다.
- [0024] 본 발명의 일 실시형태에 따른 초음파 스프레이 증착 기술을 활용한 염료감응형 태양전지 TiO_2 전극의 제조방법은,
- [0025] 폴리스티렌(Polystyrene) 및 이산화 타이타늄(TiO_2)를 듀얼 노즐을 통해 동시에 초음파 분사하여 필름을 제조하는 단계;
- [0026] 상기 필름을 고온 열처리하여 상기 폴리스티렌을 제거하여 다공극성 TiO_2 필름을 제조하는 단계; 및
- [0027] 상기 다공극성 TiO_2 필름의 공극에 염료인 광계 1을 흡착시켜 TiO_2 전극을 제조하는 단계;를 포함하는 것을 특징으로 한다.
- [0028] 본 발명의 일 실시형태에서, 상기 광계 1은 광 감각 염료로서 사용되고, 시금치(*Spinacia oleracea*)로부터 추출되는 것이 바람직하다.
- [0029] 상기 광계(photosystem)란 광합성의 주요 광화학 반응들을 함께 수행하는 광합성과 관련된 단백질 복합체들의 기능적 및 구조적 단위이며, 광계 1 (photosystem 1)은 태양광에 의해 발생하는 광전자의 전달 효율이 97 %에 이를 정도로 높다는 특징을 가지며, 식물 유래 소재를 사용하므로 친환경적인 장점이 있다.
- [0030] 본 발명에서, 상기 광계 1은 시금치로부터 추출될 수 있으나, 이에 제한되지 않으며 다양한 식물 또는 조류에서 추출 가능하다.
- [0031] 상기 다공극성 TiO_2 필름의 공극에 상기 광계 1을 흡착시키는 공정을 통하여, 정전기적 인력과 구조적 도킹에 의해 서로 고정될 수 있다. 본 발명에 따른 소자는 상기 광계 1이 직접적으로 결합된 구조를 가지며, 광계 1에서 전자전달시 일정한 방향성을 가져, 현저하게 높은 광전자 추출 효율을 나타낼 수 있다.

- [0032] 본 발명에 따른 다공극성 TiO_2 필름은 듀얼 노즐 시스템을 활용하여 FTO (Fluorine doped Tin Oxide), ITO-PEN (Flexible 기판) 등의 기판 상에 서로 상이한 크기의 나노입자 2종을 동시에 초음파 분사하여 제조될 수 있다. 본 발명에 의하면, 서로 상이한 크기의 입자를 이용하여 필름의 공극 크기 및 상기 공극에 흡착되는 염료의 흡착량을 제어할 수 있다.
- [0033] 본 발명의 일 실시형태에서, 상기 나노입자 2종은 폴리스티렌(Polystyrene) 및 이산화 타이타늄(TiO_2)을 사용하는 것이 바람직하나, 이에 제한되는 것은 아니다.
- [0034] 본 발명의 일 실시형태에서, 서로 상이한 크기의 입자를 이용하여 필름의 공극 크기를 제어하는 방법은, 상기 폴리스티렌 및 이산화 타이타늄을 동시 분사하였을 때 이산화 타이타늄 필름 내부에 상대적으로 큰 크기의 폴리스티렌 입자가 삽입된 형태로 구성되며, 상기 필름은 열소결 공정(Thermal Sintering Process)을 통해 큰 크기의 폴리스티렌 입자가 사라져 큰 크기의 공극이 형성될 수 있다.
- [0035] 본 발명의 일 실시형태에서, 상기 폴리스티렌 입자 크기를 변화시켜 pore의 크기를 조절할 수 있으며, 이때, 상기 폴리스티렌 입자의 크기는 100 내지 300 nm이고, 상기 TiO_2 입자의 크기는 20 내지 50 nm인 것이 바람직하다.
- [0036] 일반적으로, 폴리스티렌의 크기는 100~500nm로 다양하지만, 폴리스티렌의 경우 300nm가 넘어가는 크기를 갖게 되면 전극 제작시 전극 자체가 부스러지는 현상이 발생하기 때문에 300nm 미만의 크기 내에서 사용하는 것이 바람직하다.
- [0037] 상기 TiO_2 입자는 페이스트 형태인 것이 바람직하고, 상기 폴리스티렌 입자는 D.I water나 Ethanol 등에 분산시킨 용액(solution) 형태인 것이 바람직하다.
- [0038] 상기 폴리스티렌과 이산화 타이타늄의 분사량 비율에 따라 필름 내부의 pore의 양을 조절할 수 있고, 분사량, cycle 횟수에 따라 총 필름의 두께를 조절할 수 있다. 구체적으로는, TiO_2 paste 5 wt%로 ethanol에 분산시킨 용액과 폴리스티렌 0.2ml 및 ethanol 19.8ml의 혼합 용액을 각 200 $\mu\text{l}/\text{min}$ 의 속도로 분사하는 것이 바람직하고, 총 cycle 횟수는 90 회인 것이 바람직하다.
- [0039] 본 발명의 일 실시형태에서, 상기 필름은 고온 열처리하여 필름 내부의 폴리스티렌과 이산화 타이타늄을 소각함으로써 공극이 형성되는 것을 특징으로 한다. 상기 열처리는 500 내지 600 $^{\circ}\text{C}$ 에서 수행되는 것이 바람직하다.
- [0040] 본 발명에 따른 염료감응형 태양전지 TiO_2 전극은
- [0041] 다공극성 이산화 타이타늄(TiO_2) 필름; 및
- [0042] 상기 필름 내 공극에 흡착된 시금치 추출 광계 1;로 구성되는 것을 특징으로 한다.
- [0043] 또한, 본 발명에 따른 TiO_2 필름은 염료감응형 태양전지 등 다양한 전기화학 소자로 적용이 가능하다.
- [0044] 이하, 실시예에 의해 본 발명을 보다 구체적으로 설명하고자 한다. 이들 실시예는 오직 본 발명을 설명하기 위한 것으로, 본 발명의 범위가 이들 실시예에 국한되지 않는다는 것은 당업자에게 있어서 자명하다.
- [0045] **제조예 1: 시금치 기반 추출 광계 1 용액의 제조**
- [0046] 시금치 잎으로부터 광합성에 관여하는 단백질 복합체 중 광계 1만 선택적으로 분리하기 위해서 다음과 같은 기계적, 화학적 분쇄 과정을 거쳤다.
- [0047] 먼저, 줄기를 제거한 시금치 잎을 비이온수로 깨끗하게 세척하고 착즙기를 통해 갈아주었다. 분쇄되지 않은 큰 입자들은 거즈 필터로 걸러주고 얻은 녹즙은 10,000 xg, 4도에서 5분간 원심분리하여 상등액을 제거하였다. 얻어진 침전물은 30 mL의 pH 7 sodium phosphate buffer에 분산시키고 동일 조건으로 원심분리를 반복하여 부서진 엽록체 조각들을 수득하였다. 엽록체 조각 침전물은 다시 초음파 분쇄를 통해 위 버퍼에 분산시키고 계면활성제 용액과 1 : 2 부피비로 섞어준 후 45 $^{\circ}\text{C}$ 에서 열처리를 하였다. 계면활성제를 이용한 지질막 구조의 분해로 단백질 구조들을 분리하고 열처리 과정으로 열에 약한 단백질 구조들을 제거하였다. 열 변성된 단백질들은 원심분리를 통해 침전물을 제거하여 분산된 광계 1 용액을 수득하였다.
- [0048] **실시예 1:**

- [0049] **실시예 1-1: 초음파 스프레이를 활용한 다공극성 TiO₂ 필름의 제조**
- [0050] 광전극을 제조하기 위해서 FTO를 물과 아세톤, 에탄올을 활용하여 각각 20분 초음파 세척을 진행하였다. 세척이 완료된 FTO 기판에 UV-OZONE treatment를 진행한 뒤 40mM의 TiCl₄ 수용액에 담지 시켜 70 °C의 oven에 30분 처리한 뒤 D.I water로 세척하여 박막 형태의 TiO₂를 형성하였다.
- [0051] 전처리가 완료된 기판 위에 0.4cm x 0.4cm의 정사각형 사이즈의 크기를 갖는 mask를 붙인 뒤, TiO₂ paste 5 wt%를 ethanol에 분산시킨 용액과 Polystyrene 1%의 부피비(20ml 중 0.2ml)를 ethanol에 분산시킨 용액을 주사기 펌프를 사용하여 초음파 노즐을 통과시키고(200 μl/min), 180 kHz의 고주파 초음파 스프레이를 진행하였다. 상기 용액들은 FTO 기판 위에 동시에 분사되어 TiO₂ 필름을 형성하였고, 이때 각 주사기 펌프의 주입 속도에 따라 필름 내의 TiO₂와 polystyrene의 비율을 조절할 수 있다.
- [0052] 초음파 분사가 완료된 필름을 550 °C로 소성하여 필름 내부의 polystyrene과 paste에 포함된 polymer들을 소각하여 필름 형성을 마무리하였다. 이후 TiO₂ 필름의 추가적인 흡착능력 향상을 위해 TiCl₄ 용액에 담지시키고 70 °C 오븐에 처리한 뒤 550 °C로 한번 더 소성을 진행하여 필름 제작을 마무리하였다.
- [0053] **실시예 1-2: 시금치 염료 기반 TiO₂ 전극의 제조**
- [0054] 상기 TiO₂ 필름을 20분 동안 UV-OZONE 처리한 후 상기 제조예 1에서 제조된 시금치 기반 추출 광계 1 용액을 상기 필름 위로 0.2 μl 가량 떨어뜨려 TiO₂ film을 적셔주었다. 그런 다음, 진공 오븐을 이용하여 상온에서 용액을 진공 흡착시키는 방식으로 TiO₂ 필름 내부에 흡착시켰다. 4시간 정도 후 제작된 필름을 증류수로 세척한 뒤 위의 방식을 총 5회 반복하여 필름을 제조하였다.
- [0055] **실시예 1-3: 상대 전극 및 소자의 제조**
- [0056] 상대 전극을 제조하기 위해서 FTO(1.3cm x 1.7cm) 위에 전해질을 주입하기 위한 1개의 구멍을 뚫은 뒤 구멍이 뚫린 FTO를 물과 아세톤과 에탄올에서 각각 20분간 초음파 세척한 후 오븐에 건조시켰다. 건조된 FTO 위에 Pt 용액을 붓을 이용한 브리싱 방법으로 발라준 뒤, 열풍기를 활용하여 400 °C에서 30분 동안 소성하였다.
- [0057] 준비된 상기 실시예 1-2에서 제조된 TiO₂ 전극과 상기 상대 전극을 60 μm 두께의 셸린(surlyn)으로 120°C의 가열판 위에서 약 5 ~ 10초 동안 가압하여 접합하였다. 접합된 전극의 구멍으로 전해질을 주입한 후 셸린(surlyn)과 커버 글라스(cover glass)를 사용하여 구멍을 인두로 막아 셀을 제조하였다.
- [0058] **비교예 1:**
- [0059] **비교예 1-1: TiO₂ 필름의 제조**
- [0060] 광전극을 제조하기 위해서 FTO를 물과 아세톤, 에탄올을 활용하여 각각 20분 초음파 세척을 진행하였다. 세척이 완료된 FTO 기판에 UV-OZONE treatment를 진행한 뒤 40mM의 TiCl₄ 수용액에 담지 시켜 70 °C의 oven에 30분 처리한 뒤 D.I water로 세척하여 박막형태의 TiO₂를 형성시켰다.
- [0061] 전처리가 완료된 기판 위에 0.4cm x 0.4cm의 정사각형 사이즈의 크기를 갖는 mask를 붙인 뒤, TiO₂ paste를 5 wt%로 ethanol에 분산시킨 용액을 주사기 펌프를 사용하여 초음파 노즐을 통과시키고, 고주파 초음파를 (180 kHz) 초음파 스프레이를 진행하였다. 이들 용액들은 FTO 기판 위에 동시에 분사되어 TiO₂ 필름을 형성하고 각 주사기 펌프의 주입 속도나 사이클에 따라 필름 두께를 조절할 수 있다.
- [0062] 초음파 분사가 완료된 필름을 550 °C로 소성하여 필름 내부의 paste에 포함된 polymer들을 소각하여 필름 형성을 마무리하였다. 이후 TiO₂ 필름의 추가적인 흡착능력 향상을 위해 TiCl₄ 용액에 담지시키고 70 °C 오븐에 처리한 뒤 550 °C로 한번 더 소성을 진행하여 필름 제작을 마무리하였다.
- [0063] **비교예 1-2: 전극 및 소자의 제조**
- [0064] 상기 실시예 1과 동일한 방법을 이용하여 전극 및 소자를 제조하였다.

[0065] **실험예 1:**

[0066] 상기 실시예 1-1 및 비교예 1-1에서 제조된 TiO_2 필름들의 성능을 비교하기 위하여 공초점 레이저(Confocal Laser) 현미경을 이용해 광계1의 발광과장에 대한 분석을 수행하였다.

[0067] 도 2를 참조로, 상기 비교예 1-1에서 제조된 TiO_2 필름 내부에는 공극이 형성되지 않아 광계1의 흡착 두께가 약 $0.7\mu\text{m}$ 로 분석되었고, 상기 실시예 1-1에서 제조된 TiO_2 필름 내부에는 크기가 큰 복수의 공극이 형성되어 있어 광계1의 흡착이 용이하였기 때문에 흡착 두께가 약 $7.0\mu\text{m}$ 로 분석되었다. 이를 통해, 상기 실시예 1-1에서 제조된 TiO_2 필름에 광계1이 더 깊게 침투되어 있음을 확인하였다.

[0068] 또한, 상기 실시예 1-1의 TiO_2 필름을 증류수로 세척하여도 침투된 광계1 두께가 일정하게 유지되는 것으로 보아 광계1의 흡착이 잘 유지되고 있음을 알 수 있었다.

[0069] **실험예 2:**

[0070] 상기 실시예 1-2 및 비교예 1-2에서 제조된 TiO_2 전극의 효율을 측정하여 그 결과를 아래 표 1에 단락전류와 개방전압, 충전율(Fill Factor) 및 효율을 정리하여 나타내었다. 측정 방법에 있어, peccell사의 태양전지 효율 측정 장비(solar simulator, PEC-L01)를 사용하였고, 광원은 크세논 램프(xenon lamp)($150\text{ mW}/\text{cm}^2$)를 사용하였으며, 소자 사이즈는 $0.4\text{ cm} \times 0.4\text{ cm}$ 필름에 $1.3\text{ cm} \times 1.7\text{ cm}$ 기판을 사용하였다.

표 1

[0071]

비교예 1 (90 cycles w/o pore)	$J_{sc}(\mu\text{A}/\text{cm}^2)$	$V_{oc}(\text{V})$	FF	EFF(%)
광계 1 흡착 전	4.2	0.28	0.55	0.001
광계 1 흡착 후	51	0.52	0.75	0.02
실시예 1 (90 cycles w/o pore + 300 nm pore)	$J_{sc}(\mu\text{A}/\text{cm}^2)$	$V_{oc}(\text{V})$	FF	EFF(%)
광계 1 흡착 전	10.5	0.20	0.45	0.001
광계 1 흡착 후	134	0.51	0.75	0.05

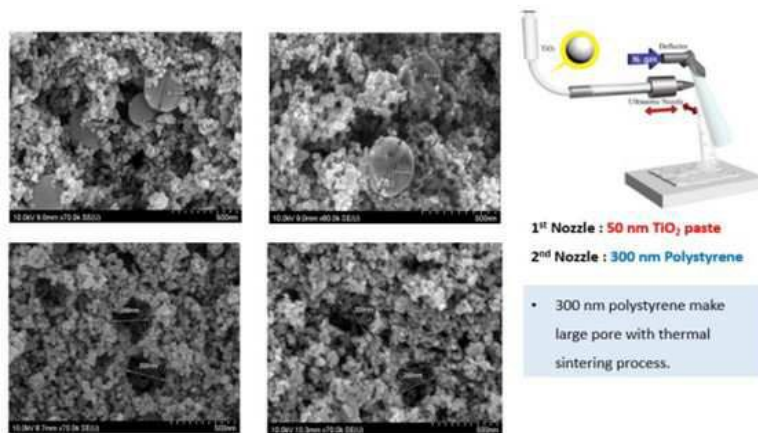
[0072] Pore가 있는 실시예 1 및 Pore가 없는 비교예 1의 조건 모두 소자를 제작하여 효율을 측정해 보았을 때, 300 nm의 pore가 존재하는 경우가 더 좋은 효율을 보여주고, 광계 1 흡착 후에도 더 좋은 효율을 보여주는 것을 확인할 수 있었다(도 5 참조).

[0073] 이상으로 본 발명의 특정한 부분을 상세히 기술하였는 바, 본 발명이 속한 기술분야에서 통상의 지식을 가진 자에게 있어서 이러한 구체적인 기술은 단지 바람직한 구현예일 뿐이며, 이에 본 발명의 범위가 제한되는 것이 아님은 명백하다. 본 발명이 속한 기술분야에서 통상의 지식을 가진 자라면 상기 내용을 바탕으로 본 발명의 범주 내에서 다양한 응용 및 변형을 행하는 것이 가능할 것이다.

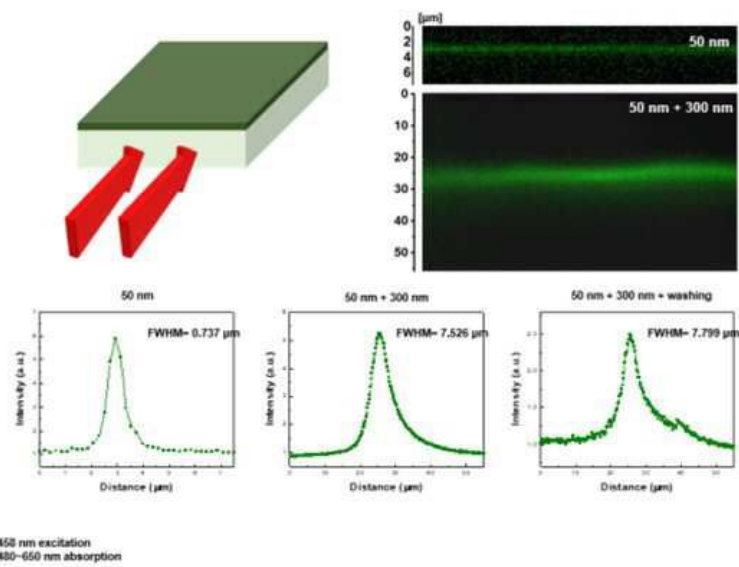
[0074] 따라서, 본 발명의 실질적인 범위는 첨부된 특허청구범위와 그의 등가물에 의하여 정의된다고 할 것이다.

도면

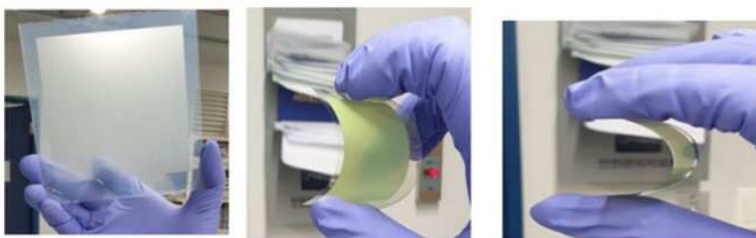
도면1



도면2



도면3



도면4



도면5

