

(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2025-0051398

(43) 공개일자 2025년04월17일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)

C09K 11/02 (2006.01) C09K 11/54 (2006.01)

C09K 11/60 (2006.01) C09K 11/66 (2006.01)

H10K 30/35 (2023.01) H10K 30/50 (2023.01)

H10K 30/85 (2023.01) B82Y 20/00 (2017.01)

B82Y 40/00 (2017.01)

(52) CPC특허분류

C09K 11/025 (2021.01)

C09K 11/54 (2013.01)

(21) 출원번호 10-2023-0134461

(22) 출원일자 2023년10월10일

심사청구일자 2023년10월10일

(71) 출원인

한국전력공사

전라남도 나주시 전력로 55(빛가람동)

고려대학교 산학협력단

서울특별시 성북구 안암로 145, 고려대학교 (안암동5가)

(72) 발명자

오승주

서울특별시 강남구 역삼로 420, 103동 701호 (대치동)

최영균

서울특별시 중구 청구로6길 8, 501호 (신당동, 타워아파트)

(74) 대리인

특허법인 정안

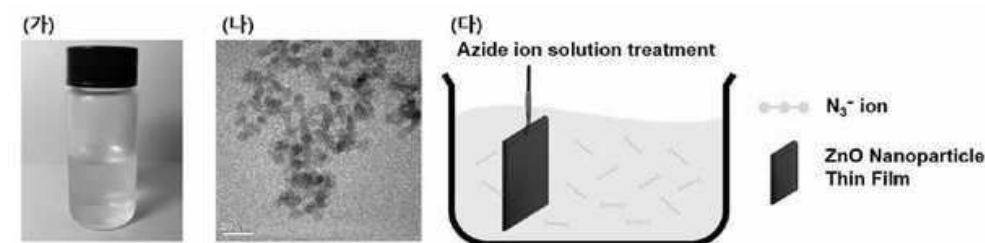
전체 청구항 수 : 총 7 항

(54) 발명의 명칭 아자이드 이온으로 표면 개질한 금속-산화물 반도체 나노입자 및 금속-산화물 반도체 나노입자의 표면 처리 방법

(57) 요약

본 발명은 아자이드 이온으로 금속-산화물 반도체 나노입자의 표면을 개질함으로써, 전자 수송층의 성능을 증대시키고, 이를 포함하는 광전소자의 성능을 향상시킬 수 있는, 금속-산화물 반도체 나노입자 및 금속-산화물 반도체 나노입자의 표면 처리 방법에 관한 것이다.

대표도 - 도1



(52) CPC특허분류

C09K 11/60 (2013.01)

C09K 11/66 (2013.01)

H10K 30/35 (2023.02)

H10K 30/50 (2023.02)

H10K 30/85 (2023.02)

B82Y 20/00 (2013.01)

B82Y 40/00 (2013.01)

명세서

청구범위

청구항 1

아자이드 이온으로 표면 개질한 금속-산화물 반도체 나노입자.

청구항 2

제1항에 있어서,

상기 금속 산화물 반도체 나노입자는 ZnO, SnO₂, NiO₂, MoO₃ 및 TiO₂로 이루어진 군으로서 선택되는 것을 특징으로 하는 금속 산화물 반도체 나노입자.

청구항 3

제1항에 따른 금속 산화물 반도체 나노입자를 포함하는 전자 수송층 박막.

청구항 4

제3항에 따른 전자 수송층 박막을 포함하는 전자소자.

청구항 5

제4항에 있어서,

상기 전자소자는 태양전지, 광검출기, 광센서, 발광다이오드 또는 웨어러블 센서인 것을 특징으로 하는 전자소자.

청구항 6

소듐 아자이드 (Sodium azide, NaN₃)를 극성 용매에 용해시켜 아자이드 이온 용액을 제조하는 제 1단계; 및

상기 제조한 아자이드 이온 용액에 금속-산화물 반도체 나노입자를 침지하는 제 2단계;를 포함하는, 금속-산화물 반도체 나노입자의 표면 처리 방법.

청구항 7

제6항에 있어서,

상기 제 2단계는 상온 및 상압 조건에서 이루어지는, 금속-산화물 반도체 나노입자의 표면 처리 방법.

발명의 설명

기술 분야

[0001] 본 발명은 아자이드 이온 용액으로 금속-산화물 반도체 나노입자의 표면을 개질함으로써, 전자 수송층의 성능을 증대시키고, 이를 포함하는 광전소자의 성능을 향상시킬 수 있는, 금속-산화물 반도체 나노입자 및 금속-산화물 반도체 나노입자의 표면 처리 방법에 관한 것이다.

배경 기술

- [0003] 양자점 및 나노입자 소재는 자외선-가시광선-근적외선에 이르는 넓은 파장 대역에 대한 높은 흡광계수와 우수한 광전특성을 가지고 있으며, 태양전지, 광검출기 등의 광전소자에 활발히 적용되고 있다. 양자점 태양전지는 통상적으로 하부투명전극 / 전자 수송층 / 흡광층 / 정공 수송층 / 상부전극의 구조를 가지며, 흡광층과 전하(전자 및 정공) 수송층은 양자점 및 나노입자를 이용한 용액 공정으로 제작된다. 하부투명전극 및 흡광층 사이에 위치하는 전자 수송층은 일반적으로 태양광 스펙트럼에 대하여 투명하고 전자 수송을 위한 n-type을 갖는 금속-산화물 반도체 기반의 나노입자 소재가 널리 차용되고 있다.
- [0004] 차세대 광전소자에 사용되고 있는 금속-산화물 반도체 나노입자는 산화아연 (ZnO), 이산화주석(SnO₂), 이산화티타늄(TiO₂), 이산화니켈(NiO₂) 등 다양한 물질군이 고려되고 있다. 이러한 나노입자 소재는 높은 부피 대비 표면적으로 인해, 나노입자의 표면 상태가 반도체의 특성 및 성능을 결정하는 중요한 요인이 된다. 기존 벌크 소재 기반 반도체와는 다르게 상기 나노입자 소재군은 소재 제작 공정에서 습식 화학법을 적용하고 있다. 습식 화학법에서 다양한 전구체를 용액 공정 기반으로 반응시켜 나노입자 합성이 수행될 수 있으며, 수 나노미터 크기의 다양한 나노입자 및 양자점 합성이 가능하다. 습식 화학법은 저온 용액 공정이 가능하여 단가가 저렴하다는 장점이 있지만, 합성된 나노입자의 표면 상태에 필연적으로 형성되는 결함을 제어하기 힘든 단점이 있다. 금속-산화물 반도체 나노입자의 표면에는 합성시 발생하는 유기물 흡착, 표면 산소 공공에 의한 산소 이온 흡착, 땀글링 (Dangling) 결함 등 나노입자의 표면에 원치 않는 결함이 형성된다. 이러한 소재 결함은 습식 화학법의 장점을 퇴화시키며, 나아가 광전소자의 성능을 직접적으로 침해하는 요인으로 간주된다. 이러한 나노입자 표면의 다양한 결함을 해소하기 위한 후처리 공정의 필요성이 요구되고 있는 실정이다.

선행기술문헌

특허문헌

- [0006] (특허문헌 0001) 대한민국 공개특허공보 제10-2023-0011934호 (공개일자 : 2023.01.25)

발명의 내용

해결하려는 과제

- [0007] 본 발명은 아자이드 이온으로 금속-산화물 반도체 나노입자의 표면을 개질함으로써, 전자 수송층의 성능을 증대시키고, 이를 포함하는 광전소자의 성능을 향상시킬 수 있는, 금속-산화물 반도체 나노입자, 이를 포함하는 전자 수송층 박막, 전자소자 및 금속-산화물 반도체 나노입자의 표면 처리 방법을 제공하는데 목적이 있다.

과제의 해결 수단

- [0009] 본 발명은 금속-산화물 반도체 나노입자에 관한 것으로서, 아자이드 이온으로 상기 금속-산화물 반도체 나노입자의 표면을 개질한 것을 특징으로 하며,
- [0010] 상기 금속 산화물 반도체 나노입자는 ZnO, SnO₂, NiO₂, MoO₃ 및 TiO₂로 이루어진 군에서 선택될 수 있다.
- [0011] 또 다른 본 발명인 전자 수송층 박막은 상기 금속 산화물 반도체 나노입자를 포함하는 것을 특징으로 한다.
- [0012] 또 다른 본 발명인 전자소자는 상기 전자 수송층 박막을 포함하며, 태양전지, 광검출기, 광센서, 발광다이오드 또는 웨어러블 센서일 수 있다.
- [0013] 또 다른 본 발명인 금속-산화물 반도체 나노입자의 표면 처리 방법은 소듐 아자이드 (Sodium azide, NaN₃)를 극성 용매에 용해시켜 아자이드 이온 용액을 제조하는 제 1단계; 및 상기 제조한 아자이드 이온 용액에 금속-산화물 반도체 나노입자를 침지하는 제 2단계;를 포함하며, 상기 제 2단계는 상온 및 상압 조건에서 이루어질 수

있다.

발명의 효과

- [0015] 본 발명에 따르면, 강한 환원제로 알려진 아자이드 이온 (Azide ion)처리를 통해 금속-산화물 반도체 나노입자의 표면에서 흡착된 유기물, 탱글링 결합 등에 의해 형성된 결합을 효과적으로 제거할 수 있다.
- [0016] 또한, 결합 제거 이후 아자이드 이온은 나노입자 표면에 이온결합을 통한 패시베이션을 제공하여 나노입자의 표면 상태를 안정화 시킬 수 있다.
- [0017] 아울러, 상기 금속-산화물 반도체 나노입자를 전자 수송층 박막으로 이용할 경우, 금속-산화물 반도체 나노입자의 표면에 존재하는 다수의 결합과 밴드갭 내부의 트랩 준위가 효과적으로 제거됨으로써, 전자 수송층의 전자 농도를 향상시킬 수 있으며, 전자 수송을 크게 방해하는 흡착 산소 이온을 대폭 제거하여 박막의 전자 이동도도 크게 향상시킬 수 있다.
- [0018] 본 발명에 따른 아자이드 이온 용액 처리 시 상온, 상압, 용액 공정으로 수행될 수 있어 처리 비용이 절감되고, 다양한 산업·연구 분야에 적용될 수 있으며 특히, 차세대 소재 기반 광소자 (태양전지, 광검출기, 발광다이오드) 등에 도입될 수 있다.

도면의 간단한 설명

- [0020] 도 1은 본 발명의 일 실시예에 따른 아자이드 이온으로 산화아연 박막의 표면 개질 방법의 개념도.
- 도 2(가), (나)는 본 발명에 따른 아자이드 이온 처리 전후의 ZnO 나노입자 박막의 X-선 회절 분석(XRD) 그래프.
- 도 3(가), (나)는 본 발명에 따른 아자이드 이온 처리 전후의 ZnO 나노입자 박막의 시간분해 형광분광법 (Time-Resolved Fluorescence Spectroscopy, TRPL) 그래프.
- 도 4(가), (나), (다)는 본 발명에 따른 아자이드 이온 처리 전후의 ZnO 나노입자 박막의 자외선광전자분광 (UPS) 그래프.
- 도 4(라)는 본 발명에 따른 아자이드 이온 처리 전후의 황화납 (Lead sulfide, PbS) 양자점 박막의 에너지 밴드 구조.
- 도 5(가)는 본 발명에 따른 아자이드 이온 처리 후의 ZnO 나노입자 박막을 포함하는 ITO/ZnO/Au 소자의 전류밀도-전압 곡선 및 소자의 모식도.
- 도 5(나)는 본 발명에 따른 아자이드 이온 처리 후의 ZnO 나노입자 박막을 포함하는 Si/SiO₂/ZnO NP/Au 구조를 갖는 ZnO 나노입자 기반 박막 트랜지스터의 전송 특성 그래프.
- 도 6(가)는 본 발명에 따른 아자이드 이온 처리 후의 ZnO 나노입자 박막을 전자 수송층으로 하는 황화납 양자점 태양전지 전자소자 모식도.
- 도 6(나)는 도 6(가)에 따라 제조한 황화납 양자점 태양전지에 100 mW/cm² 세기의 AM 15G 태양광 스펙트럼 광원 조사한 소자의 전류밀도-전압 곡선 그래프.
- 도 6(다)는 도 6(가)에 따라 제조한 황화납 양자점 태양전지의 광전변환효율(Power conversion efficiency, PCE) 그래프.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

- [0021] 이하, 구체적인 실시예를 통해 본 발명을 상세히 설명하기로 한다.
- [0023] **[제조예 1] 표면 개질된 산화아연 (Zinc oxide, ZnO) 나노입자 박막 제조**
- [0024] 양자점 태양전지의 전자 수송층에 사용될 수 있는 산화아연 (Zinc oxide, ZnO) 나노입자 박막은 콜로이달 ZnO

나노입자(Colloidal ZnO Nanoparticle)를 기반으로 인듐주석산화물(ITO) 기판(Substrate)에 스핀 코팅, 블레이드 코팅 등의 박막화 공정을 통해 형성하였다. 이는 도 1(가), (나)에서, 콜로이달 ZnO 나노입자와 해당 입자의 TEM 이미지를 통해 확인할 수 있다.

[0026] 이후, 도 1(다)와 같이, 소듐 아자이드를 메탄올에 10 mM 의 농도로 용해 시켜 아자이드 이온 용액을 준비하였다. 본 아자이드 이온 처리는 상온, 상압의 임의 환경에서 준비된 아자이드 이온 용액에 ZnO 나노입자 박막을 담구어 줌으로서 수행가능하다.

[0028] **[실험 결과]**

[0029] **1. FT-IR를 통한 ZnO 나노입자 박막 표면에 존재하는 화학종 분석**

[0030] 푸리에 변환 적외선 분광법 (FT-IR)을 이용하여, 상기 제조예 1에 따른 아자이드 이온 처리 전 후로 ZnO 나노입자 박막 표면에 존재하는 화학종을 분석하였다. 도 2(가)에서와 같이, 아자이드 이온 처리 전(검은색), 후(빨간색)으로 각 화학종을 분석하였다.

[0031] 우선 아자이드 이온 처리 전 확인 가능한 특징적인 피크로는 1300 ~ 1600 cm^{-1} 에서 샤프하게 존재하는 카르복실레이트기 (Carboxylate group, COO^-) 관련 피크와 3000 ~ 3500 cm^{-1} 에서 브로드하게 존재하는 하이드록실기 (Hydroxyl group, OH^-) 관련 피크를 확인할 수 있었다. 상기 COO^- 및 OH^- 화학종은 ZnO 나노입자의 습식 화학 합성 과정 중 필연적으로 형성되어 나노입자 표면에 결합하고 있는 부산물이지만, ZnO 나노입자 박막이 광전소자의 전자 수송층으로 기능할 때 전하 트랩으로 작용하여 광전류를 저해하는 요인으로 간주된다. 아자이드 이온 처리 후의 그래프와 비교하여 보면, 이러한 COO^- 및 OH^- 화학종의 피크가 눈에 띄게 감소하는 것을 확인할 수 있으며 이러한 피크 감소는 해당 화학종의 존재비가 감소함을 의미한다. 아자이드 이온 처리 이후, 2150 cm^{-1} 에서 굉장히 샤프한 아자이드 이온을 특징하는 피크가 형성됨을 알 수 있으며, 이는 해당 처리에 의해 ZnO 나노입자 표면에 아자이드 이온이 패시베이션 되었음을 의미한다.

[0033] **2. X-선 회절분석법 (XRD)을 통한 ZnO 나노입자 박막 결정구조 변화 분석**

[0034] X-선 회절분석법 (XRD)을 기반으로 상기 제조예 1에 따른 아자이드 이온 처리 전후의 ZnO 나노입자 박막의 결정구조 변화 여부를 조사하였다.

[0035] 도 2(나)와 같이, 아자이드 이온 처리 전,후의 ZnO 나노입자 박막의 XRD 스펙트럼을 확인할 수 있었다. 아자이드 처리 전 후로 XRD 피크에 특별한 변화가 관찰되지 않았다. 이는 아자이드 이온 처리가 ZnO의 결정구조에 변화를 유발하지 않았음을 의미하며, ZnO의 기존 결정구조 특성을 침해하지 않는다는 것으로 해석될 수 있다.

[0037] **3. ZnO 나노입자 박막의 광발광 스펙트럼 (PL spectrum) 측정**

[0038] 상기 제조예 1에 따른 아자이드 이온 처리 전 후의 ZnO 나노입자 박막의 광발광 스펙트럼 (PL spectrum)을 측정하였다. 해당 측정에서 ZnO 나노입자의 밴드갭 (Bandgap) 이상의 에너지를 갖는 자외선(<300 nm)을 조사하여 가전자대 (Valence band) 준위에 있는 전자를 전도대 (Conduction band) 준위로 여기시키고, 여기된 전자가 다시 가전자대 준위로 떨어지면서 발생하는 빛에 의한 발광 파장 및 강도를 분석하였다.

[0039] 도 3(가)에서 530 nm 부근에서 브로드한 PL 피크를 확인할 수 있고, 아자이드 이온 처리에 따라 해당 피크가 크게 감소함을 알 수 있었다.

[0040] 해당 PL 피크의 기원은 자외선 흡수에 의해 여기된 전자가 가전자대 준위로 떨어지지 않고, 밴드갭 내부의 깊은 트랩 준위 (deep trap state)로 떨어지면서 방출되는 것으로, ZnO 나노입자 표면 및 내부의 결함의 수와 비례한다. 아자이드 이온 처리에 의해 PL 피크가 감소하는 것으로 해당 처리를 통해 전자 수송을 방해하는 깊은 준위의 개수가 크게 감소하였음을 알 수 있었다.

[0042] **4. ZnO 나노입자 박막의 시간분해 형광분광법 분석**

[0043] 랩 준위의 감소는 ZnO 박막에서 전하 운반자의 재결합 (Recombination) 빈도 수를 감소시켜 전하 운반자의 수명을 증대시킬 수 있다. 이는 시간분해 형광분광법 (Time-Resolved Fluorescence Spectroscopy, TRPL)을 기반으로 측정될 수 있으며, 전하 운반자의 수명을 파악할 수 있다. 도 3(나)에서 상기 제조예 1에 따른 아자이드 이온 처리 전 후의 TRPL 데이터를 볼 수 있으며, 스펙트럼의 0초 부근에서 자외선 조사에 의한 전자 여기가 발생하고 최대 피크가 형성됨을 알 수 있다. 해당 피크 감쇠가 늦을수록 박막 내에서 전자의 수명이 길다는 것을 의미한다. 아자이드 이온 처리에 따라, 해당 TRPL 강도가 감쇠하는 시간이 길어졌으며, 전자의 수명이 11.8 ns에서 13.2 ns로 증가했음을 데이터 피팅을 통해 확인하였다. 이는 추후 양자점 태양전지를 제작할 때, ZnO 나노입자 전자 수송층의 수송 특성을 향상시키는 요인으로 볼 수 있다.

[0045] **5. ZnO 나노입자 박막의 자외선광전자분광(UPS) 분석**

[0046] 자외선광전자분광법을 통해 상기 제조예 1에 따른 ZnO 나노입자 박막의 광학적 밴드갭 에너지를 도출하였다. ZnO 나노입자 박막의 밴드갭 에너지는 아자이드 이온 처리 전 후로 각각 3.47, 3.46 eV 으로 큰 차이가 없었으며 도 4(가)에서 볼 수 있다. 전체적인 에너지 밴드 및 전자 구조 파악을 위한 전도대 및 가전도대준위를 자외선광전자분광법 (Ultraviolet photoelectron spectroscopy, UPS)을 통해 측정하였다.

[0047] 도 4(나), (다)의 UPS 스펙트럼을 통해 각각 진공 준위로부터 페르미 준위에 해당하는 에너지 차이, 페르미 준위부터 가전도대 준위에 해당하는 에너지 차이를 알 수 있었다. 이를 기반으로 아자이드 이온 처리 전 후에 따른 ZnO 나노입자 박막의 에너지 밴드 구조를 양자점 태양전지의 흡광층 소재인 황화납 (Lead sulfide, PbS) 양자점 박막의 에너지 밴드 구조와 함께 도 4(라)에 도시하였다.

[0049] **6. ZnO 나노입자 박막의 전기적 특성 분석**

[0050] ZnO 나노입자 박막의 페르미 준위와 PbS 양자점과의 페르미 준위 차이는 두 반도체 박막 간 접합 (junction)이 이루어 졌을 때, 내부 전위 (Built-in potential) 크기를 결정짓는 요소이다. 아자이드 이온 처리 전 후에 ZnO 박막과 양자점 흡광층의 페르미 준위 차이가 075, 090으로 해당 처리 이후 전자 수송층과 흡광층 사이의 내부 전계가 향상되었다. 이는 태양전지의 개방회로 전압 및 광자 추출 효율 증대에 큰 요소로 작용할 수 있다.

[0051] 아자이드 이온 처리 전 후로 ZnO 나노입자 박막의 전기적 특성을 조사하기 위해, 두가지 타입의 소자를 제작하였다. 첫 번째는 ITO 전극 기판에 ZnO 나노입자 박막을 형성하고, 금 전극을 열증착하여 ITO/ZnO NP/Au 구조를 갖는 소자이다. 두 번째는 ZnO 나노입자 박막 트랜지스터 소자로 SiO₂가 게이트 절연체 (Dielectric)로 형성된 Si 기판 위에 ZnO 나노입자 박막을 코팅하고 금을 상부 소스-드레인 전극으로 열증착하여 Si/SiO₂/ZnO NP/Au 구조를 갖는다.

[0052] 도 5(가)에서 ITO/ZnO/Au 소자의 전류밀도-전압 곡선과 소자의 모식도를 볼 수 있다. -1 V ~ 1 V의 전압을 인가하였을 때, 모든 전압에서 소자를 통해 흐르는 전류밀도가 아자이드 이온 처리 전 후로 3 배 가량 크게 상승하였다. 이는 아자이드 이온 처리를 통해 ZnO 박막의 전기전도도가 크게 증가하였음을 의미하며, 전하 수송 특성이 향상된 결과로 볼 수 있다.

[0053] 도 5(나)에서 Si/SiO₂/ZnO NP/Au 구조를 갖는 ZnO 나노입자 기반 박막 트랜지스터의 전송 특성(Transfer characteristics)을 볼 수 있다. Au 소스-드레인 전극에 50 V의 전압을 인가한 상태로, Si 게이트에 -50 V ~ 50 V의 전압을 인가함에 따라, 소스-드레인에 흐르는 전류값을 측정하여 전송 특성을 확인한다. 음의 전압에서 트랜지스터는 꺼진 상태 (off)로 소스-드레인 간 전류가 흐르지 않지만, 양의 전압에서 전류가 급격히 상승하여 트랜지스터가 작동하는 켜진 상태(on)가 된다. 전류가 급격히 상승하기 시작하는 지점을 문턱 전압 (Threshold voltage)이라고 한다. 아자이드 이온 처리 이후 트랜지스터는 문턱전압이 처리 이전 6 V에서 처리 후 -4 V로 약 10 V 이동하였다. 이것은 아자이드 이온 처리 이후 ZnO 나노입자 반도체 채널에 전자 농도가 증가했음을 의미한다. 채널에 전자 농도가 증가하여 처리 이전보다 적은 게이트 전압에서 트랜지스터가 작동할 수 있게 된 것이며, 또한 켜진 상태에서 소스-드레인 전류가 크게 증가했음을 볼 수 있다. 해당 전송 특성으로부터 ZnO 박막의 전자 이동도를 도출할 수 있으며, 아자이드 이온 처리 전 후 ZnO 나노입자 박막의 전자 이동도가 $3.8 \times 10^{-4} \text{ cm}^2/\text{V} \cdot \text{s}$ 에서 $2.7 \times 10^{-3} \text{ cm}^2/\text{V} \cdot \text{s}$ 으로 대폭 증가한 것을 확인할 수 있었다.

[0055] [제조예 2] ZnO 나노입자 박막 전자 수송층 기반의 황화납 양자점 태양전지 제조

[0056] 아자이드 이온 처리를 기반으로 성능이 향상된 ZnO 나노입자 박막 전자 수송층을 기반으로 황화납 양자점 태양전지를 제작하였으며, 소자 구조도는 도 6(가)와 같다. ITO 하부 투명전극에 ZnO 나노입자 박막을 코팅하고, 아자이드 이온 처리를 진행하였다. 이후 황화납 (PbS) 양자점 박막 기반의 흡광층과 정공 수송층을 코팅하고 상부 금 전극을 열증착함으로써 양자점 태양전지를 제조하였다.

[0058] [실험결과]

[0059] 황화납 양자점 태양전지 의 전류밀도-전압 곡선 측정

[0060] 상기 제조예 2의 양자점 태양전지의 성능 측정을 위해, 100 mW/cm^2 세기의 AM 1.5G 태양광 스펙트럼 광원 조사 하에 소자의 전류밀도-전압 곡선을 측정하였으며 도 6(나)에서 볼 수 있다. 처리 전 후로 양자점 태양전지의 성능이 전반적으로 크게 향상되었다. 태양전지의 개방회로 전압 (Open circuit voltage, V_{oc})이 처리 이전 0.55 V에서 처리 이후 0.57 V로 증가하였으며, 이는 아자이드 이온 처리에 의해 ZnO 나노입자 박막 전자 수송층과 양자점 흡광층의 P-N 접합이 강화된 결과로 볼 수 있다.

[0061] 단락회로 전류 (Short circuit current, J_{sc})전류의 경우 25.4 mA/cm^2 에서 27.3 mA/cm^2 으로 태양전지가 생산하는 광전류 값이 크게 상승하였고 이는 아자이드 이온 처리에 의해 강화된 P-N 접합 및 전하 트랩 감소에 의해 광 전류 추출 효율이 증가하였기 때문으로 볼 수 있다.

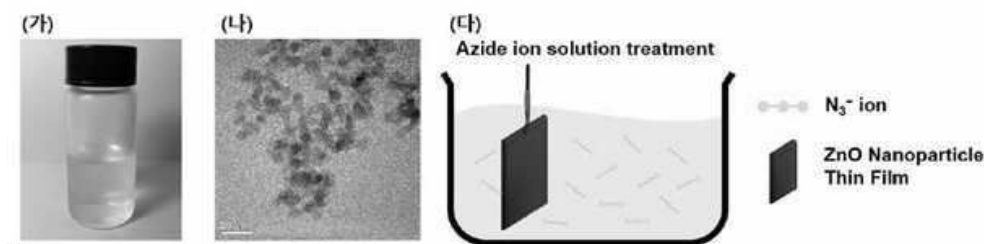
[0062] 충전율 (Fill factor, FF)의 경우 0.64에서 0.69로 증가하였으며, 아자이드 이온 처리된 전자 수송층의 향상된 전하 수송 특성에 기인한다.

[0063] 위와 같이 아자이드 이온 처리된 ZnO 나노입자 전자 수송층은 양자점 태양전지의 성능인자를 큰 폭으로 향상시켰다. 해당 기술을 적용하여 양자점 태양전지의 광전변환효율(Power conversion efficiency, PCE)을 9.0 %에서 10.7 %로 대폭 향상시킬 수 있었다. 아자이드 이온 처리 전 후 양자점 태양전지의 성능인자를 도 6(다)에서 확인할 수 있다.

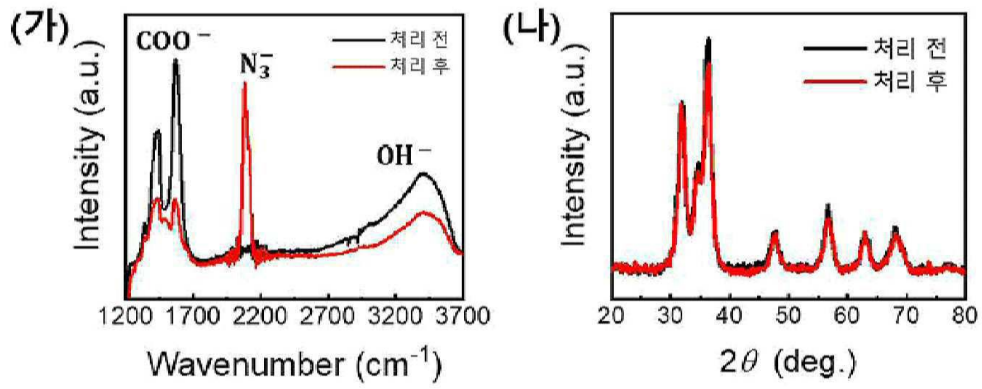
[0065] 본 발명을 첨부된 도면 및 실시예를 통해 설명하였으나, 이는 본 발명의 요지를 포함하는 다양한 실시 형태 중의 하나의 실시예에 불과하며, 당업계에서 통상의 지식을 가진 자가 용이하게 실시할 수 있도록 하는 데에 그 목적이 있는 것으로, 본 발명은 상기 설명된 실시예에만 국한되는 것이 아님은 명확하다. 따라서, 본 발명의 보호범위는 하기의 청구범위에 의해 해석되어야 하며, 본 발명의 요지를 벗어나지 않는 범위 내에 있는 모든 기술사상은 본 발명의 권리범위에 포함될 것이다.

도면

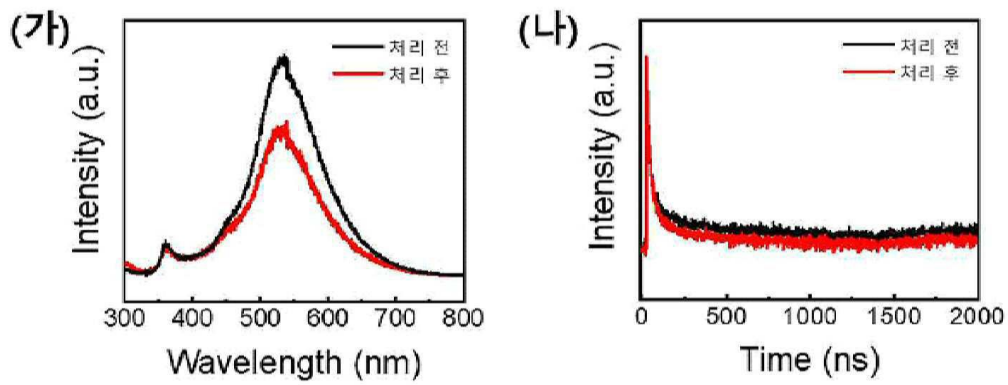
도면1



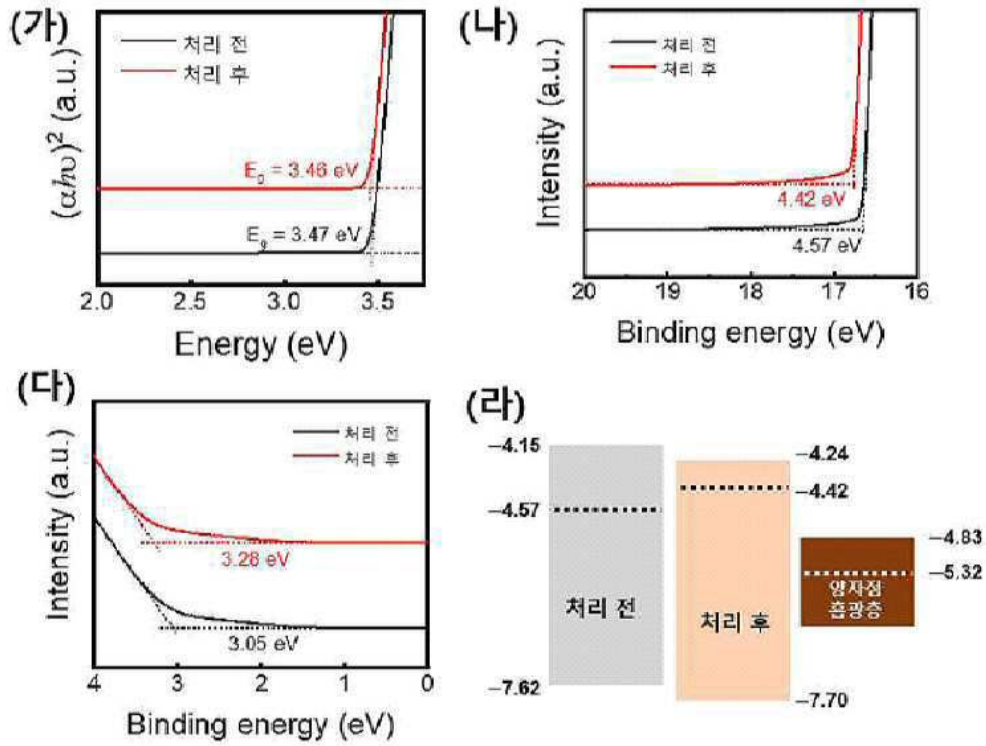
도면2



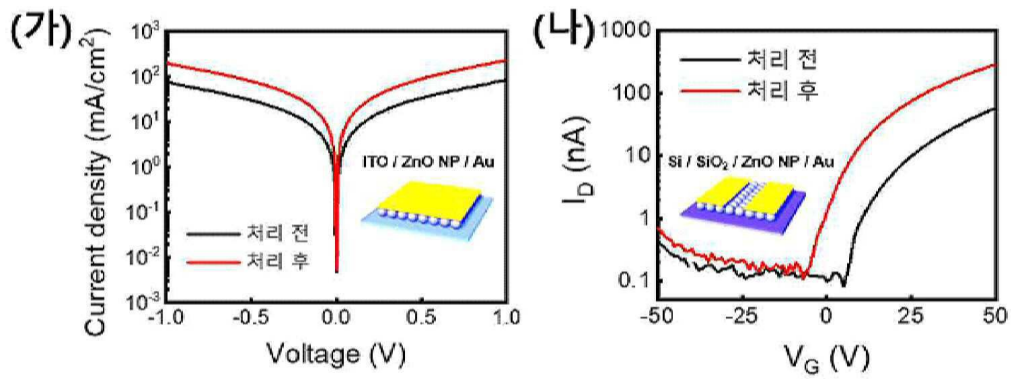
도면3



도면4



도면5



도면6

