



(19) 대한민국특허청(KR)  
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2014-0018483  
(43) 공개일자 2014년02월13일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)  
H01L 31/18 (2006.01) H01L 31/042 (2014.01)  
H01L 31/0224 (2006.01)  
(21) 출원번호 10-2012-0084194  
(22) 출원일자 2012년07월31일  
심사청구일자 2012년07월31일

(71) 출원인  
인하대학교 산학협력단  
인천광역시 남구 인하로 100, 인하대학교 (용현동)  
(72) 발명자  
박동화  
서울 서초구 잠원로 88, 303동 204호 (잠원동, 신반포한신아파트)  
이수정  
인천 남동구 인수북로4번길 10 (만수동)  
(74) 대리인  
이원희

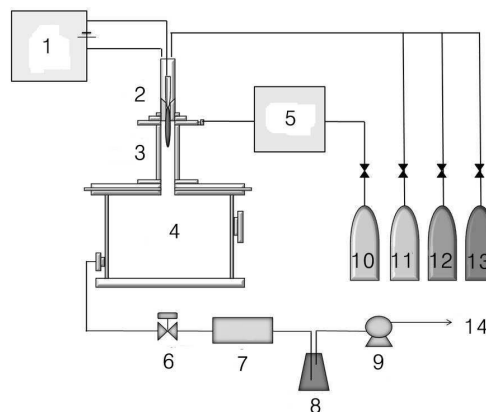
전체 청구항 수 : 총 10 항

(54) 발명의 명칭 플라즈마 공정을 통해 합성된 산화아연 나노분말을 이용한 염료감응형 태양전지의 제조방법 및 이를 통해 제조한 염료감응형 태양전지

(57) 요약

본 발명의 목적은 플라즈마 공정을 통해 합성된 산화아연 나노분말을 이용한 염료감응형 태양전지의 제조방법 및 그에 따라 제조된 염료감응형 태양전지를 제공하는 데 있다. 이를 위하여 본 발명은 열 플라즈마 반응기 내에 플라즈마 제트를 발생시키는 단계(단계 1); 상기 발생된 플라즈마 제트 내부로 아연 입자를 주입하여 용융, 기화시키는 단계(단계 2); 상기 플라즈마 제트 내부로 산소 및 이산화탄소의 혼합가스를 반응가스로 주입하여 상기 기화된 아연가스와 반응가스를 반응시킨 후, 이를 냉각시켜 산화아연 나노분말을 합성하는 단계(단계 3); 상기 단계 3에서 합성된 산화아연 나노분말을 이용하여 광전극을 제조하는 단계(단계 4); 및 상기 단계 4에서 제조된 광전극을 포함하는 염료감응형 태양전지를 제조하는 단계(단계 5);를 포함하는 것을 특징으로 하는 플라즈마 공정을 통해 합성된 산화아연 나노분말을 이용한 염료감응형 태양전지의 제조방법을 제공한다. 또한, 상기의 방법을 이용하여 제조한 염료감응형 태양전지를 제공한다. 본 발명은 반응가스로 산소와 이산화탄소를 혼합한 기체를 사용하여 산화아연 나노분말을 제조하고 이를 염료감응형 태양전지의 광전극에 도입함으로써 광전변환효율이 우수한 염료감응형 태양전지를 제조할 수 있다.

대표도 - 도1



이 발명을 지원한 국가연구개발사업

|        |                         |
|--------|-------------------------|
| 과제고유번호 | 44947-2                 |
| 부처명    | 지식경제부                   |
| 연구사업명  | 지역혁신센터(RIC)             |
| 연구과제명  | 플라즈마를 이용한 악취 오염물질 처리공정  |
| 기 여 율  | 1/1                     |
| 주관기관   | 인하대학교산학협력단              |
| 연구기간   | 2012.03.01 ~ 2013.02.28 |

---

## 특허청구의 범위

### 청구항 1

열 플라즈마 반응기 내에 플라즈마 제트를 발생시키는 단계(단계 1);

상기 발생된 플라즈마 제트 내부로 아연 입자를 주입하여 용융, 기화시키는 단계(단계 2);

상기 플라즈마 제트 내부로 산소 및 이산화탄소의 혼합가스를 반응가스로 주입하여 상기 기화된 아연가스와 반응가스를 반응시킨 후, 이를 냉각시켜 산화아연 나노분말을 합성하는 단계(단계 3);

상기 단계 3에서 합성된 산화아연 나노분말을 이용하여 광전극을 제조하는 단계(단계 4); 및

상기 단계 4에서 제조된 광전극을 포함하는 염료감응형 태양전지를 제조하는 단계(단계 5);

를 포함하는 것을 특징으로 하는 플라즈마 공정을 통해 합성된 산화아연 나노분말을 이용한 염료감응형 태양전지의 제조방법.

### 청구항 2

제 1 항에 있어서, 상기 열 플라즈마 반응기는 비이송식 열 플라즈마 반응기인 것을 특징으로 하는 플라즈마 공정을 통해 합성된 산화아연 나노분말을 이용한 염료감응형 태양전지의 제조방법.

### 청구항 3

제 1 항에 있어서, 상기 플라즈마 제트 발생가스는 아르곤 가스인 것을 특징으로 하는 플라즈마 공정을 통해 합성된 산화아연 나노분말을 이용한 염료감응형 태양전지의 제조방법.

### 청구항 4

제 1 항에 있어서, 상기 단계 3에서 반응가스로 사용되는 산소 및 이산화탄소의 혼합가스는 산소:이산화탄소 가스가 1:1 내지 5:1의 부피비로 공급되는 것을 특징으로 하는 플라즈마 공정을 통해 합성된 산화아연 나노분말을 이용한 염료감응형 태양전지의 제조방법.

### 청구항 5

제 1 항에 있어서, 상기 아연 입자 및 반응가스의 주입되는 유량의 비는  $Zn : \text{반응가스} = 1 \text{ [g/min]} : 1 \text{ 내지 } 20 \text{ [l/min]}$  인 것을 특징으로 하는 플라즈마 공정을 통해 합성된 산화아연 나노분말을 이용한 염료감응형 태양전지의 제조방법.

### 청구항 6

제 1 항에 있어서, 상기 염료감응형 태양전지는 전도성 전극, 광전극, 전해질 및 상대전극을 포함하는 것을 특징으로 하는 플라즈마 공정을 통해 합성된 산화아연 나노분말을 이용한 염료감응형 태양전지의 제조방법.

### 청구항 7

제 6 항에 있어서, 상기 광전극은 코팅 또는 물리적/화학적 증착의 방법으로 전도성 전극에 구비되는 것을 특징으로 하는 플라즈마 공정을 통해 합성된 산화아연 나노분말을 이용한 염료감응형 태양전지의 제조방법.

## 청구항 8

제 7 항에 있어서, 상기 코팅은 분무열분해법, 스펀코팅, 바코팅, 그라비아 코팅, 블레이드 코팅 및 롤 코팅으로 이루어진 군으로부터 선택되는 1종의 방법으로 수행되는 것을 특징으로 하는 플라즈마 공정을 통해 합성된 산화아연 나노분말을 이용한 염료감응형 태양전지의 제조방법.

## 청구항 9

제 6 항에 있어서, 상기 상대전극은 백금(Pt) 또는 탄소(C)로 제조되는 것을 특징으로 하는 플라즈마 공정을 통해 합성된 산화아연 나노분말을 이용한 염료감응형 태양전지의 제조방법.

## 청구항 10

제 1 항의 방법으로 제조되고, 전도성 전극, 광전극, 전해질 및 상대전극을 포함하는 구성으로 이루어진 광전변환효율이 향상되는 것을 특징으로 하는 염료감응형 태양전지.

## 명세서

### 기술분야

[0001] 본 발명은 플라즈마 공정으로 제작된 산화아연 나노분말이 적용된 염료감응형 태양전지의 제조방법에 관한 것이다.

### 배경기술

[0002] 나노입자는 직경이 100 nm 이하의 작은 입자로 체적에 비해 표면적이 매우 커서 벌크상태에서와는 다른 물성으로 인하여 세라믹 소결과 박막제조의 원료분말, 촉매, 자성재료, 광섬유 등에 사용되고 있다.

[0003] 나노입자를 제조하는 방법에는 물리적, 화학적 방법 또는 고상, 액상, 기상법 등이 있으며, 특히 기상법을 이용하여 나노입자를 제조하는 공정은 화학 조성에 변화를 주지 않고 열에너지를 가해 벌크물질을 증발시킨 후 증기를 냉각시켜 분말 형태로 제조하는 공정이므로, 냉각속도 등에 따라 입자의 크기를 제어하는 것이 가능하다.

[0004] 한편, 염료 감응형 태양전지는 식물의 광합성 원리를 응용한 소자로 투명전극(TCO), 나노결정 반도체 산화물, 염료 고분자층으로 구성된 광전극과 투명전극 및 백금 박막으로 구성된 상대전극, 그리고 두 전극 사이를 산화환원용 전해질 용액으로 채우고 있는 구조이고 태양광이 입사되면 에너지를 흡수해 여기된 염료 고분자가 전자를 방출해 나노결정 반도체 산화물의 전도대로 보냄으로써 발생하는 기전력을 외부 부하에 전달하는 형태로 작동한다.

[0005] 최근까지 염료감응형 태양전지의 나노소재 전극개발에 있어 기존의 나노구조 이산화타이타늄( $\text{TiO}_2$ ) 전극막에 다양한 크기의 나노입자를 혼합하거나 다층구조를 도입하는 등, 이산화타이타늄( $\text{TiO}_2$ ) 전극소재의 개선을 통해 태양전지의 효율성을 높이는 방향의 연구가 진행되어 왔다. 하지만 기존의 이산화타이타늄( $\text{TiO}_2$ )을 적용시킨 나노구조는 나노입자의 형태로 한정되어 있어서 전자의 이동 시 수많은 이산화타이타늄( $\text{TiO}_2$ ) 나노입자의 계면에서 전자의 재결합이 발생한다. 이때, 전자가 손실되고 이동시간이 늘어나 효율이 감소한다. 따라서 전혀 다른 소재를 이용한 기존의 이산화타이타늄( $\text{TiO}_2$ ) 나노입자 구조에 비교하여 특성이 향상된 다양한 형태의 나노구조체 설계가 필요하다.

- [0006] 산화아연은 이산화타이타늄( $\text{TiO}_2$ )과 비슷한 에너지 밴드갭을 가지고 있어서 기존의 이산화타이타늄( $\text{TiO}_2$ )을 이용한 염료감응형 태양전지에서 가장 보편적으로 쓰이고 있는 루테튬 계열의 유기화합물 염료를 이용할 수 있다. 그리고 나노입자, 나노막대, 나노시트 등의 다양한 나노구조체 합성법이 개발되어 여러 형태의 나노구조의 제작이 가능하다는 장점이 있다. 또한, 전자의 이동이 보다 빠르므로 이는 전자의 빠른 확산속도 측면에서 강점을 보여준다.
- [0007] 대한민국 공개특허 제 10-2011-0105190 호에 따르면, 투명 전도성 산화물 박막으로 AZO(Al-doped tin oxide)를 사용하여 산화아연 나노입자 및 산화아연 나노와이어 중 적어도 하나를 포함하며 광감응 염료가 흡착되어 있는 산화아연 나노구조체를 포함하여 이루어진 반도체 전극과 대향전극과 반도체전극과 대향전극 사이를 채우는 전해질 용액을 구비한 염료감응 태양전지에 대하여 기재하고 있다. 그러나 상기 산화아연을 이용한 염료감응형 태양전지의 에너지 변환효율은 1 % 아래에 머무른다는 문제점이 있다.
- [0008]
- [0009] 최근 산화아연 나노구조에 실리카( $\text{SiO}_2$ )나 이산화타이타늄( $\text{TiO}_2$ )을 코팅한 복합 나노구조 전극의 개발로 인해 3 ~ 4 % 정도의 효율을 구현하고 있다.
- [0010] 대한민국 공개특허 제 10-2011-0083011 호에 따르면, 투명기판 및 산화아연에 갈륨이 도핑된 산화아연 박막층과, 상기 산화아연 박막층에 형성되며 산화주석에 도펀트가 도핑된 산화주석 박막층을 포함하는 투명전도성막을 포함하는 염료감응형 태양전지의 전극기판에 대하여 기재하고 있다. 그러나 상기 방법은 다양한 물질을 사용함에 따라 제작공정이 복잡하다는 문제점이 있다.
- [0011] 일반적으로 산화아연을 사용한 염료감응형 태양전지는 염료의 약산성에 의해 산화아연 표면이 일부 용출되어 적절한 표면 흡착이 어렵고, 용출된 아연 성분과 염료가 혼합되어 아연과 염료의 덩어리가 생성되어 전극 내 나노입자들 사이의 공간을 막아 전해질의 확산을 억제하는 부반응이 존재하여 광전효율이 낮다.
- [0012] 따라서 산화아연의 계면특성에 주목하여 산화아연 전극의 표면 안정화에 초점을 맞추어 나노구조체의 다양한 형태에 따른 이상적인 표면제공을 통해 광전효율이 향상된 염료감응형 태양전지에 대한 연구가 지속적으로 요구되고 있다.
- [0013] 이에 본 발명의 발명자들은 플라즈마 공정을 이용하여 산화아연 나노분말을 합성한 것을 염료감응형 태양전지의 광전극에 적용하면 광전효율이 향상되는 효과가 있음을 알게되어 본 발명을 완성하였다.

## 선행기술문헌

### 특허문헌

- [0014] (특허문헌 0001) 대한민국 공개특허 제 10-2011-0105190 호(공개일:2011.11.8)  
(특허문헌 0002) 대한민국 공개특허 제 10-2011-0083011 호(공개일:2011.7.20)

## 발명의 내용

### 해결하려는 과제

[0015] 본 발명의 목적은 플라즈마 공정을 통해 합성된 산화아연 나노분말을 이용한 염료감응형 태양전지의 제조방법 및 그에 따라 제조된 염료감응형 태양전지를 제공하는 데 있다.

### 과제의 해결 수단

- [0016] 이를 위하여 본 발명은
- [0017] 열 플라즈마 반응기 내에 플라즈마 제트를 발생시키는 단계(단계 1);
- [0018] 상기 발생된 플라즈마 제트 내부로 아연 입자를 주입하여 용융, 기화시키는 단계(단계 2);
- [0019] 상기 플라즈마 제트 내부로 산소 및 이산화탄소의 혼합가스를 반응가스로 주입하여 상기 기화된 아연가스와 반응가스를 반응시킨 후, 이를 냉각시켜 산화아연 나노분말을 합성하는 단계(단계 3);
- [0020] 상기 단계 3에서 합성된 산화아연 나노분말을 이용하여 광전극을 제조하는 단계(단계 4); 및
- [0021] 상기 단계 4에서 제조된 광전극을 포함하는 염료감응형 태양전지를 제조하는 단계(단계 5);
- [0022] 를 포함하는 것을 특징으로 하는 플라즈마 공정을 통해 합성된 산화아연 나노분말을 이용한 염료감응형 태양전지의 제조방법을 제공한다.
- [0023] 또한, 상기의 방법을 이용하여 제조한 전도성 전극, 광전극, 전해질 및 상대전극을 포함하는 구성으로 이루어진 광전변환효율이 향상된 염료감응형 태양전지를 제공한다.

### 발명의 효과

- [0024] 본 발명에 따르면, 산화아연 나노분말을 생성할 때 플라즈마 공정을 사용함으로써 단순하면서도 빠르게 대량생산할 수 있고, 원료물질로서 반응가스와 아연분말만이 공급되므로 오염물질이 발생하지 않아 친환경적인 공정설계가 가능하다. 또한, 본 발명에 따라 제조된 산화아연 나노분말을 염료감응형 태양전지의 광전극으로 사용하면 플라즈마 공정을 통해 제작하여 외부 불순물 투입이 적어 고순도의 산화아연 나노분말이 제작가능하며, 이를 사용하여 광전극을 형성하면 우수한 광전변환효율을 나타내는 염료감응형 태양전지를 제조할 수 있다. 나아가, 산화아연 나노분말을 제조할 때, 공급하는 산소 및 이산화탄소의 혼합 가스의 유량과 혼합비율을 조절하여 나노분말의 크기 및 형태를 제어할 수 있고, 이에 따라 염료감응형 태양전지의 광전변환효율이 향상될 수 있다.

### 도면의 간단한 설명

- [0025] 도 1은 본 발명에 따른 산화아연 나노분말을 제조하는데 사용되는 플라즈마 공정 장치의 개략도이고;
- 도 2는 본 발명에 따른 염료감응형 태양전지를 이루는 셀의 단면도이고;
- 도 3은 본 발명에 따른 비교예 1 내지 비교예 4에서 제조된 산화아연 나노분말의 X-선 회절분석 그래프이고;
- 도 4는 본 발명에 따른 비교예 5 내지 비교예 8에서 제조된 산화아연 나노분말의 X-선 회절분석 그래프이고;
- 도 5는 본 발명에 따른 실시예 1 내지 실시예 2에서 제조된 산화아연 나노분말의 X-선 회절분석 그래프이고;
- 도 6은 본 발명에 따른 비교예 1 내지 비교예 4에서 제조된 산화아연 나노분말의 주사전자현미경 이미지이고;
- 도 7는 본 발명에 따른 비교예 5 내지 비교예 8에서 제조된 산화아연 나노분말의 주사전자현미경 이미지이고;
- 도 8은 본 발명에 따른 실시예 1 내지 실시예 2에서 제조된 산화아연 나노분말의 주사전자현미경 이미지이고;
- 도 9는 본 발명에 따른 비교예 1 내지 비교예 4에서 제조된 산화아연 나노분말의 투과전자현미경 이미지이고;
- 도 10은 본 발명에 따른 비교예 5 내지 비교예 8에서 제조된 산화아연 나노분말의 투과전자현미경 이미지이고;
- 도 11은 본 발명에 따른 실시예 1 및 실시예 2에서 제조된 산화아연 나노분말의 투과전자현미경 이미지이고;

도 12는 본 발명에 따른 비교예 1 내지 비교예 4의 개로전압에 대한 단락 전류밀도의 그래프이고;

도 13은 본 발명에 따른 비교예 5 내지 비교예 8의 개로전압에 대한 단락 전류밀도의 그래프이고;

도 14는 본 발명에 따른 실시예 1 및 실시예 2의 개로전압에 대한 단락 전류밀도의 그래프이다.

### 발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

- [0026] 본 발명의 목적은 플라즈마 공정을 통해 합성된 산화아연 나노분말을 이용한 염료감응형 태양전지의 제조방법 및 그에 따라 제조된 광전변환효율이 향상된 염료감응형 태양전지를 제공하는 데 있다.
- [0027] 이를 위하여 본 발명은
- [0028] 열 플라즈마 반응기 내에 플라즈마 제트를 발생시키는 단계(단계 1);
- [0029] 상기 발생된 플라즈마 제트 내부로 아연 입자를 주입하여 용융, 기화시키는 단계(단계 2);
- [0030] 상기 플라즈마 제트 내부로 산소 및 이산화탄소의 혼합가스로 이루어진 균으로부터 선택되는 1종을 반응가스로 주입하여 상기 기화된 아연가스와 반응가스를 반응시킨 후, 이를 냉각시켜 산화아연 나노분말을 합성하는 단계(단계 3);
- [0031] 상기 단계 3에서 합성된 산화아연 나노분말을 이용하여 광전극을 제조하는 단계(단계 4); 및
- [0032] 상기 단계 4에서 제조된 광전극을 포함하는 염료감응형 태양전지를 제조하는 단계(단계 5);
- [0033] 를 포함하는 것을 특징으로 하는 플라즈마 공정을 통해 합성된 산화아연 나노분말을 이용한 염료감응형 태양전지의 제조방법을 제공한다.
- [0034] 이하 본 발명을 단계별로 상세히 설명한다.
- [0035] 본 발명에 따른 염료감응형 태양전지의 제조방법에 있어서, 상기 단계 1은 열플라즈마 반응기 내에 플라즈마 제트를 발생시키는 단계이다. 플라즈마 제트는 반응기 내 토치의 양극과 음극 노즐 사이로 플라즈마 제트 발생가스를 송급하여 이를 통해 직류 아크를 발생시켜 분출시킨 것이다. 상기의 방법으로 발생한 플라즈마 제트는 약 수만 켈빈(K) 정도로 가열되어 고온, 고속의 활성종(전자, 이온, 중성분자, 원자)으로 분출되어 상기 플라즈마 제트 내부로 주입된 아연 입자를 용융, 기화시킬 수 있고, 용융, 기화된 아연 가스가 주입된 반응가스와 반응한 후 반응관을 지나면서 급냉과정을 거쳐 산화아연 나노입자를 생성시킬 수 있다.
- [0036] 본 발명에 따른 염료감응형 태양전지의 제조방법에 있어서, 상기 열 플라즈마 반응기는 비이송식 열 플라즈마 반응기인 것이 바람직하다. 비이송식 열 플라즈마 반응기는 양전극과 음전극이 플라즈마 토치 내에 설치되어 가스를 플라즈마화 시키며, 이때 플라즈마화 반응은 전극 사이에서 일어나는 구조로 작동한다. 비이송식 열플라즈마 반응기는 원료의 상에 대한 제한이 없으므로 전극 사이나 플라즈마 영역에 가스 혹은 기화되는 대상물이나 초미분 등을 직접 장입하여 플라즈마화하는 공정에 적합하므로, 비이송식 열 플라즈마 반응기를 사용하면 불활성기체 뿐만 아니라 수소, 산소, 공기와 같은 화학반응을 일으키는 기체도 사용할 수 있다는 장점이 있다.
- [0037] 본 발명에 따른 염료감응형 태양전지의 제조방법에 있어서, 상기 플라즈마 제트 발생가스는 아르곤 가스인 것이 바람직하다. 아르곤 가스는 분자량이 작고, 고온에서도 불활성이며, 아르곤 가스를 통해 열이 확산되기 쉽기 때문에 아크의 전류밀도를 높여 고온의 플라즈마를 얻을 수 있으므로 상기 플라즈마 제트 발생가스로 아르곤 가스를 사용할 수 있다.
- [0038] 본 발명에 따른 염료감응형 태양전지의 제조방법에 있어서, 상기 단계 2는 상기 발생된 플라즈마 제트 내부로 아연 입자를 주입하여 용융, 기화시키는 단계이다. 아연입자가 운반 가스와 함께 반응튜브 상단의 주입부로 주

입되어, 플라즈마 제트 내부로 아연 입자가 주입되면 상기 입자들이 용융, 기화되어 아연가스가 발생하게 되고 이후 주입되는 반응가스와 용이하게 반응하여 산화아연 나노분말을 생성시킬 수 있다.

[0039] 본 발명에 따른 염료감응형 태양전지의 제조방법에 있어서, 상기 단계 3은 상기 플라즈마 제트 내부로 산소 및 이산화탄소의 혼합가스를 반응가스로 주입하여 상기 기화된 아연가스와 반응가스를 반응시킨 후, 이를 냉각시켜 산화아연 나노분말을 합성하는 단계이다. 산소 및 이산화탄소의 혼합가스는 토치 상단의 주입구를 통해 주입되고, 용융 기화된 아연 입자와 반응하면서 플라즈마 반응기 내의 반응튜브 벽 및 챔버로 이동하여 급격히 냉각되어 산화아연 나노분말이 합성될 수 있다.

[0040] 열플라즈마 공정을 이용하면 플라즈마 내 중심부에서 기체의 온도가 약 수 만 켈빈(K) 정도로 가열되어 고온, 고열용량, 고속의 활성종(전자, 이온, 중성분자, 원자)이 다량으로 생성될 수 있다. 고온, 고활성의 열플라즈마 내에 분말 및 액상의 원료 물질을 주입하여 기상으로 전환시키면, 기상에서 반응기체와 화학반응을 일으킨 후 급냉하여 핵 생성 및 입자성장이 일어나 초미세 세라믹이나 금속입자가 합성된다. 기존의 초미립자 합성법에 비해 열플라즈마 합성법에서는 열전달 속도가 빨라 액체 원료 물질이나 분말의 기상 변화가 빠르고 활성종의 농도가 높아 화학 반응속도가 빠르며 외부환경으로부터의 오염 없이 고순도의 초미세 입자를 대량으로 생산할 수 있다는 장점이 있다.

[0041] 또한, 플라즈마 공정은 공정이 단순하고, 빠른시간에 산화아연 나노분말을 대량생산할 수 있으며, 원료물질로 아연분말과 반응가스만이 원료로 들어가기 때문에 오염물질이 발생하지 않아 친환경적으로 분말을 제조할 수 있다는 장점이 있다.

[0042] 이산화탄소 가스는 플라즈마 토치 내로 공급되어 고온, 고열용량, 고속의 활성종(전자, 이온, 중성분자, 원자)으로 전환되어 아연분말을 산화시킬 수 있다. 그러나 종래의 산소가스를 반응가스로 사용하는 방식에 비해 산화력이 약하여 반응가스로 사용되는 경우 아연 분말을 충분히 산화시키지 못하고 미반응된 아연입자가 포함된 산화아연 나노분말을 생성한다. 미반응된 아연입자는 광전효과를 저해시키므로 이산화탄소를 반응가스로 사용하여 제조된 산화아연 나노분말을 염료감응형 태양전지의 광전극에 도입하면 광전변환효율이 상대적으로 우수하지 않다는 문제점이 있다. 그러나 상대적으로 곡선인자(Fill Factor)의 값은 저하되지 않아 산소와 이산화탄소를 적절한 비율로 혼합하여 사용하는 경우 광전변환효율이 상승할 수 있다. 반응가스로 산소와 이산화탄소의 혼합가스를 사용하는 경우 염료감응형 태양전지의 광전극에 도입되었을 때 기존의 산소 가스만을 이용하여 반응가스로 사용하여 제조된 산화아연 나노분말보다 우수한 광전변환효율을 나타낸다.

[0043] 본 발명에 따른 염료감응형 태양전지의 제조방법에 있어서, 상기 단계 3에서 반응가스로 사용되는 산소 및 이산화탄소의 혼합가스는 산소:이산화탄소의 비율이 1:1 내지 5:1의 부피비로 공급되는 것이 바람직하다. 산소:이산화탄소의 비율이 1:1 미만인 경우 반응가스에 포함된 산소의 비율이 낮아 산화력이 저하되어 아연분말을 충분히 산화시키지 못한다는 문제점이 발생할 수 있고, 산소:이산화탄소의 비율이 5:1을 초과하는 경우 반응가스에 포함된 산소의 비율이 높아 제조되는 산화아연 나노분말의 크기가 필요 이상으로 증가하는 문제점이 발생할 수 있다.

[0044] 본 발명에 따른 염료감응형 태양전지의 제조방법에 있어서, 상기 아연 입자 및 반응가스의 주입되는 유량의 비는  $Zn : \text{반응가스} = 1 [g/min] : 1 \text{ 내지 } 20 [l/min]$  인 것이 바람직하다. 상기 아연 입자에 대한 반응가스의 주입되는 유량의 비가 1: 1 미만인 경우 아연이 충분히 산화하지 못하는 문제점이 있고, 1:20를 초과하는 경우 반응관 내의 가스 유량이 너무 커 플라즈마의 온도에 영향을 미치고, 유속이 세기 때문에 고온 영역 내에서 충분히 반응하지 못할 수 있다. 또한, 반응한 산화아연 나노입자의 크기가 필요 이상으로 커져 염료감응형 태양전지의 광전변환효율이 충분히 증가하지 않는다는 문제점이 있다.

- [0045] 반응가스로 산소가 주입되는 경우, 유량이 증가할수록 산화아연 나노입자의 크기가 커지고(도 6 참조) 이를 도입하여 합성된 산화아연 나노입자의 크기에 따라 염료감응형 태양전지의 광전변환효율이 달라질 수 있다. 반응가스로 이산화탄소가 주입되는 경우 이산화탄소의 산화력이 상대적으로 작아 작은 유량으로 공급되는 경우 미반응된 아연입자가 존재할 수 있고, 이를 도입하여 합성된 염료감응형 태양전지는 미반응된 아연입자로부터 광전효과가 저해되어 광전변환효율이 낮아진다. 반응가스로 산소와 이산화탄소가 혼합된 가스가 주입되는 경우 미반응된 아연입자의 존재가 사라지고, 분말, 막대, 테트라포드(tetrapod) 등의 다양한 입자형태로 산화아연 나노분말이 형성되어 표면적이 넓은 1차원 나노구조로 인하여 우수한 광전변환효율을 얻을 수 있다.
- [0046] 이때, 원료로서 주입되는 아연분말의 주입량을 조절함으로써 원료가 충분히 반응가스와 반응하여 미반응물이 생성되지 않는 범위 내에서 많은 양의 원료를 주입하여 산화아연 나노분말의 생산량을 늘릴 수 있도록 한다. 분말 공급기로부터 공급되는 원료 분말의 주입속도가 0.3g/min 미만인 경우 원료 분말의 특성으로 인해 도중에 막히는 등의 플라즈마 영역 내로의 주입이 원활하지 않다는 문제점이 있고, 0.8 g/min 을 초과하는 경우 고온 영역에서 충분히 기화되어 반응할 수 있는 양보다 상대적으로 다량이 주입되므로 생산물에서 미반응물이 검출될 수 있다는 문제점이 있다.
- [0047] 또한, 운반가스의 유량이 0.8 L/min 미만인 경우 플라즈마 영역까지 원료분말을 운반하지 못한다는 문제점이 있고, 1.2 L/min 를 초과하는 경우 주입속도가 빨라 원료분말이 빠르게 주입되므로 주입된 양 전부가 고온영역 내에서 충분히 반응하지 못하고 생산물에서 미반응물이 검출될 수 있다는 문제점이 있다.
- [0048] 본 발명에 따른 염료감응형 태양전지의 제조방법에 있어서, 상기 단계 4는 상기 단계 3에서 합성된 산화아연 나노분말을 이용하여 광전극을 제조하는 단계이다. 산화아연 나노분말은 전도성 기판에 증착되어 담지된 염료로부터 전자를 흡수하여 외부회로로 전달하는 역할을 한다. 산화아연 나노분말을 전도성 기판에 증착하기 위하여 화합물과 혼합하여 전도성 기판에 증착한 후 염료를 담지하여 광전극을 제조할 수 있다. 본 발명에 따르면 열플라즈마 공정으로 불순물 함유량이 적은 고순도의 산화아연 나노입자를 신속하게 대량으로 제조할 수 있어, 이를 광전극에 도입하면 염료감응형 태양전지의 광전변환효율이 향상된다. 또한, 산화아연 나노분말의 제조시 공급되는 반응가스의 유량을 조절하여 산화아연 나노분말의 크기를 제어할 수 있는데, 산화아연 나노분말의 평균길이가 약 400 nm, 평균두께가 약 50 nm일 때 상기 산화아연 나노분말을 광전극에 도입하여 제조된 염료감응형 태양전지는 우수한 광전변환효율을 나타낸다. 본 발명에 따라 제조된 산화아연 나노분말을 염료감응형 태양전지의 광전극에 도입하면 염료감응형 태양전지가 2 % 대의 우수한 광전변환효율을 나타내는 것을 실시예들을 통해 확인할 수 있다.
- [0049] 본 발명에 따른 염료감응형 태양전지의 제조방법에 있어서, 상기 단계 5는 상기 단계 4에서 제조된 광전극을 포함하는 염료감응형 태양전지를 제조하는 단계이다. 상기 광전극은 산화아연 나노분말을 화합물과 혼합하여 전도성 기판에 증착하고, 이를 건조시킨 후 염료를 담지하여 생성될 수 있다. 상기 산화아연 나노분말이 증착된 전도성 전극은 광전극으로 사용된다.
- [0050] 본 발명에 따른 염료감응형 태양전지의 제조방법에 있어서, 상기 나노분말에 담지되는 염료는 일반적으로 루테튬계 색소, 크산틴계 색소, 시아닌계 색소, 염기성 염료, 포르피린계 화합물, 기타 아조 색소, 프탈로시아닌 화합물, 안트라퀴논계 색소, 다환 퀴논계 색소로 이루어진 군으로부터 선택되는 1종 이상을 사용할 수 있으나, 본 발명의 광전극에 사용되는 염료가 이에 제한되는 것은 아니다.
- [0051] 본 발명에 따른 염료감응형 태양전지의 제조방법에 있어서, 상기 염료감응형 태양전지는 전도성 전극, 광전극, 전해질 및 상대전극을 포함하는 것이 바람직하다.(도 2 참조) 염료감응형 태양전지는 일반적으로 투명한 물질로 제조된 전도성 전극에 염료를 포함한 산화아연 나노분말을 구비한 광전극과 양극역할을 하는 상대전극 사이에 전해질이 충전되는 구조로 구성되어 있다. 태양빛에 의해 여기된 광전극 내부의 염료들이 전자를 광전극을 구성하는 화합물의 전도대에 주입하면, 상기 주입된 전자들이 전도성 전극에 도달하여 외부회로로 전달된다. 태양광

을 흡수한 염료는 전자-정공 쌍을 형성하는데, 전자는 상기 화합물을 통해 상대전극으로 전달되고, 염료는 전해질의 산화환원 반응을 통하여 전자를 얻어 환원되고, 전해질은 다시 상대전극으로부터 전자를 전달받는 원리로 작동된다. 본 발명에 따르면 플라즈마 공정을 통해 제조된 산화아연 나노분말을 광전극에 구비하면, 입자 내부에서 낮은 재결합률과 함께 전자가 빠르게 이동하여 광전변환효율이 향상되는 효과가 있다.

[0052] 본 발명에 따른 염료감응형 태양전지의 제조방법에 있어서, 상기 광전극은 코팅 또는 물리적/화학적 증착의 방법으로 전도성 전극에 구비되는 것이 바람직하다. 상기 광전극은 전도성 전극에 코팅 또는 증착의 방법으로 구비되어 염료감응형 태양전지의 광전극으로서 작동할 수 있다.

[0053] 본 발명에 따른 염료감응형 태양전지의 제조방법에 있어서, 상기 코팅은 분무열분해법, 스펀코팅, 바코팅, 그라비아 코팅, 블레이드 코팅 및 롤 코팅으로 이루어진 군으로부터 선택되는 1종의 방법을 이용할 수 있으나, 상기 방법들은 광전극을 전도성 기판에 증착하기 위하여 사용할 수 있는 일반적인 코팅방법들로 본 발명의 코팅방법이 이에 제한되는 것은 아니다.

[0054] 본 발명에 따른 염료감응형 태양전지의 제조방법에 있어서, 상기 상대전극은 백금(Pt) 또는 탄소(C)로 제조되는 것이 바람직하다. 상기 상대전극은 염료감응형 태양전지의 양극으로 사용되는 전극으로, 상기 물질들은 산화환원을 촉진하는 촉매층으로 사용되며 이에 제한되는 것은 아니나, 높은 전도성을 가지고 전해질에 의한 부식에 대한 안정성을 가져 백금(Pt) 또는 탄소(C)를 사용하는 것이 바람직하다.

[0055] 또한, 본 발명은 상기의 방법으로 제조되고, 전도성 전극, 광전극, 전해질 및 상대전극을 포함하는 구성으로 이루어진 광전변환효율이 향상되는 것을 특징으로 하는 염료감응형 태양전지를 제공한다. 본 발명에 따르면, 열플라즈마 공정으로 불순물 함유량이 적은 고순도의 산화아연 나노입자를 제조할 수 있어, 이를 염료감응형 태양전지의 광전극으로 이용함으로써 광전변환효율이 향상된다는 장점이 있다. 또한, 산화아연 나노분말의 제조시 공급되는 반응가스의 유량을 조절함으로써 산화아연 나노분말의 크기를 조절할 수 있는데, 일정 범위내에서 상기 산화아연 나노분말의 크기에 따라 염료감응형 태양전지의 광전변환효율이 향상된다는 장점이 있다. 본 발명에 따른 염료감응형 태양전지가 2 % 대의 광전변환효율을 가지는 것을 실시예들을 통해 확인할 수 있다(표 1 참조).

[0056] 이하 본 발명을 실시예를 통하여 더욱 구체적으로 설명한다. 단 하기 실시예들은 본 발명의 설명을 위한 것일 뿐 본 발명의 범위가 하기 실시예에 의해 한정되는 것은 아니다.

[0057] <실시예 1> 염료감응형 태양전지의 제조 1

[0058] 단계 1: 직류전원장치(1), 플라즈마 토치(2), 반응튜브(3), 챔버(4), 분말 주입장치(5), 압력조절장치(6), 여과기(7), 스크러버(8) 및 진공펌프(9)가 구비된 반응기에서 플라즈마 토치(2)의 음극과 양극 노즐 사이에 아르곤 가스(11)를 플라즈마 발생가스로 15 l/min의 속도로 주입하며 방전하여 열플라즈마 제트를 발생시켰다. (도 1 참조)

[0059] 단계 2: 아연 분말은 분말주입장치(5)를 통해 0.6 g/min으로 정량적으로 제어하면서, 이를 아르곤(10) 1 l/min을 운반가스로 사용하여 반응기 측면 주입부로 공급하였다.

[0060] 단계 3: 상기 열플라즈마 제트 내부로 반응가스인 산소(12)와 이산화탄소(13)가 1:1 비율로 혼합된 기체가 플라즈마 토치(2) 상단의 주입구를 통해 5 l/min의 유량으로 공급되어 상압(1 atm)에서 10 분간 반응하였다. 이를 냉각수에 의해 냉각된 반응튜브(3) 및 챔버(4)에서 급냉시켜 산화아연 나노분말을 합성하였다. 이때, 반응기 전압은 7.6 kW이고, 생성된 산화아연 나노분말은 반응기 벽 하단에서 포집되었다.

[0061] 단계 4: 상기 단계 3에서 제조된 산화아연 나노분말 0.1 g과 터피놀(terpineol) 5 g 및 에틸 셀룰로오스(ethyl cellulose) 0.1 g을 혼합하여 도포제를 제조하였다.

[0062] 단계 5: 불소가 도핑된 산화주석(Fluoro-doped tin oxide, FTO) 기판에 상기 단계 4에서 제조된 도포제를 바르고 100 °C에서 30 분간 건조시킨 후, 루티늄계 염료인 N719(루테늄(II)535bis-TBA)를 2 시간 동안 도포제 위에 담지하여 광전극을 제조하였다.

[0063] 단계 6: 백금(Pt)이 코팅된 투명한 기판을 상대전극으로 두고, 두 전극 사이에 전해질로 0.05 M iodine, 0.2 M lithium iodide, 0.6 M 1-hexyl-2,3-dimethyl imidazolium iodide 및 0.5 M의 4-tert butyl pyridine을 포함하는 메톡시아세토나이트릴(methoxyacetonitrile)을 사용하였고, 이를 광전극과 상대전극 사이에 주입하여 염료 감응형 태양전지를 제조하였다.

[0064] <실시예 2> 염료감응형 태양전지의 제조 2

[0065] 본 발명에 따른 실시예 1의 단계 3에서 반응가스로 산소(12)와 이산화탄소(13)가 4:1 비율로 혼합된 기체를 사용한 것을 제외하고는 실시예 1과 동일한 방법으로 염료 감응형 태양전지를 제조하였다.

[0066] <비교예 1-8> 염료감응형 태양전지의 제조 3

[0067] 본 발명에 따른 실시예 1의 단계 3에서 반응가스로 산소 및 이산화탄소가 하기 표 1과 같은 조건으로 공급되는 것을 제외하고는 실시예 1과 동일한 방법으로 염료 감응형 태양전지를 제조하였다.

표 1

|       | 반응가스                    | 유량(l/min) | 반응기전압(kW) |
|-------|-------------------------|-----------|-----------|
| 비교예 1 | 산소(O <sub>2</sub> )     | 1         | 6         |
| 비교예 2 | 산소(O <sub>2</sub> )     | 3         |           |
| 비교예 3 | 산소(O <sub>2</sub> )     | 5         |           |
| 비교예 4 | 산소(O <sub>2</sub> )     | 7         |           |
| 비교예 5 | 이산화탄소(CO <sub>2</sub> ) | 1         | 7.7       |
| 비교예 6 | 이산화탄소(CO <sub>2</sub> ) | 3         |           |
| 비교예 7 | 이산화탄소(CO <sub>2</sub> ) | 5         |           |
| 비교예 8 | 이산화탄소(CO <sub>2</sub> ) | 7         |           |

[0069] <실험예 1> 나노분말 입자의 결정구조

[0070] 본 발명의 실시예 1 내지 실시예 2 및 비교예 1 내지 비교예 8에서 제조된 산화아연 나노분말의 결정구조를 확인하기 위하여 X-선 회절분석기(XRD, DMAX 2500, Rigaku Co.)를 이용하여 산화아연 나노분말의 X-선 회절분석을 수행하였고 그 결과를 도 3, 도 4 및 도 5에 나타내었다.

[0071] 도 3에 따르면, 비교예 1 내지 비교예 4에서 제조된 산화아연 나노분말의 결정구조가 (100), (002), (101)의 결정면을 형성하는 것을 확인할 수 있고, 모두 같은 결정면을 가지므로 결정구조가 모두 동일함을 확인할 수 있다. 이를 통해 크기가 상이한 모든 산화아연 나노분말이 육각형의 동일한 결정구조를 가지는 것을 알 수 있다.

[0072] 도 4에 따르면, 비교예 5 내지 비교예 8에서 제조된 산화아연 나노분말의 결정구조는 (100), (002), (101)의 동일한 결정면을 가지므로 결정구조가 육각형으로 모두 동일함을 확인할 수 있고, 산화아연 피크 및 아연 피크도 함께 나타나는 것을 확인할 수 있다. 이를 통해 반응가스로 이산화탄소를 사용하는 경우 일부 아연이 충분히 산화되지 못할 수 있음을 알 수 있다.

[0073] 도 5에 따르면, 실시예 1 및 실시예 2에서 제조된 산화아연 나노분말이 (100), (002), (101)의 모두 동일한 결정면을 형성하는 것을 확인할 수 있고, 이를 통해 제조된 모든 산화아연 나노분말이 육각형의 동일한 결정구조를 가지는 것을 알 수 있다. 이를 통해 반응가스로 산소와 이산화탄소의 혼합가스를 사용하여 산화아연 나노분말을 제조할 수 있음을 알 수 있다.

- [0074] <실험예 2> 나노분말 입자의 미세구조 확인 1
- [0075] 본 발명의 실시예 1 내지 실시예 2 및 비교예 1 내지 비교예 8에서 제조된 산화아연 나노분말 입자의 미세구조를 확인하기 위하여 주사전자현미경(SEM, S-4300, Hitachi Co.)을 이용하여 산화아연 나노분말을 관찰하였고, 그 결과를 도 6 내지 도 8에 나타내었다.
- [0076] 도 6에 따르면, 비교예 1 내지 비교예 4의 경우 산화아연 나노분말을 제조할 때 주입되는 산소의 유량이 1, 3, 5, 7  $\ell/\text{min}$ 으로 증가함에 따라, 생성된 산화아연 나노분말 입자의 길이가 100 nm, 300 nm, 400 nm, 500nm 로, 두께가 20 nm, 30 nm, 50 nm, 100 nm로 증가하는 것을 확인할 수 있다.
- [0077] 도 7에 따르면, 비교예 5 내지 비교예 8의 경우 산화아연 나노분말을 제조할 때 주입되는 이산화탄소의 유량이 1  $\ell/\text{min}$ 로 적은 경우, 생성된 산화아연 나노분말의 내부에 상대적으로 커다란 구 형태의 원료 미반응물인 아연 입자가 산화아연 나노분말과 혼재하는 것을 확인할 수 있다.
- [0078] 도 8에 따르면, 산화아연 나노분말을 제조할 때 혼합가스를 사용한 경우 나노분말의 형태가 입자, 막대, 테트라포드(tetrapod) 등의 다양한 형태로 혼재되어있는 것을 확인할 수 있다.
- [0079] <실험예 3> 나노분말 입자의 미세구조 확인 2
- [0080] 본 발명의 실시예 1 내지 실시예 2 및 비교예 1 내지 비교예 8에서 제조된 산화아연 나노분말 입자의 미세구조를 확인하기 위하여 투과전자현미경(TEM, transmission electron microscope)을 이용하여 산화아연 나노분말을 관찰하였고, 그 결과를 도 9 내지 도 11에 나타내었다.
- [0081] 도 9 내지 도 11에 따르면, 성장한 나노분말 입자는 평균길이 100 내지 500 nm, 평균지름 40 nm의 크기를 갖는 것을 확인할 수 있다.
- [0082] <실험예 4> 염료감응형 태양전지의 단락 전류 밀도
- [0083] 본 발명의 실시예 1 내지 실시예 2 및 비교예 1 내지 비교예 8에서 제조된 산화아연 나노분말을 이용하여 제작된 염료감응형 태양전지의 광전변환효율을 알아보기 위해, 개방회로전압(open circuit voltage,  $V_{oc}$ )과 단락회로 전류밀도(short-circuit current density,  $J_{sc}$ )를 측정하여 그 결과를 하기 표 2 및 도 12 내지 도 14에 나타내었다.
- [0084] 하기 표 1 중 단락전류밀도( $J_{sc}$ ), 개방회로전압( $V_{oc}$ ) 및 곡선인자(Fill Factor, FF)는 태양전지의 광전변환효율을 특징짓는 변수이다.
- [0085] 상기 단락전류밀도는 회로가 단락된 상태로, 외부저항이 없는 상태에서 빛을 받았을 때 나타나는 역방향(음의 값)의 전류밀도이다. 단락전류밀도는 입사광의 세기와 파장분포가 결정된 상태에서 광전극 나노입자의 염료 담지량에 의존하므로, 일부 광자가 이웃한 나노입자 사이로 소실되어 염료 층에서 흡수되지 못하여 감소할 수 있다.
- [0086] 상기 개방회로전압은 무한대의 임피던스가 걸린 상태에서 빛을 받았을 때 태양전지의 양단에 형성되는 전위차이다.
- [0087] 상기 곡선인자(FF)는 최대전력점에서의 전류밀도와 전압의 곱( $V_{mp} \times J_{mp}$ )을 단락전류밀도와 개방회로전압의 곱( $J_{sc} \times V_{oc}$ )으로 나눈 값이다. 상기 곡선인자는 빛이 조사된 상태에서 J-V 곡선의 모양이 사각형에 얼마나 가까운가를 나타내는 지표이다. 이는 광흡수에 의해 여기된 전자가 정공과의 재결합(recombination)에 의해 손실되지 않고 얼마나 효과적으로 전지 내부에서 외부회로 쪽으로 보내어지는가에 의존한다. 상기 광흡수에 의해 여기된 전자와 정공의 재결합에 의한 손실은 재료의 내부 또는 계면에서 일어날 수 있다.
- [0088] 태양전지의 광전변환효율(PCE)은 태양전지에 의해 생산된 최대 전력과 입사광 에너지  $P_{in}$  사이의 비율로, 하기

수학식 1과 같이 계산하였다.

<수학식 1>

$$\eta(\%) = \frac{(J_{sc} \times V_{oc} \times FF)}{P_i}$$

표 2

|       | $V_{oc}(V)$ | $J_{sc}(mA/cm^2)$ | 곡선인자(%) | 광전변환효율(%) |
|-------|-------------|-------------------|---------|-----------|
| 비교예 1 | 0.64        | 3.94              | 0.63    | 1.59      |
| 비교예 2 | 0.65        | 5.72              | 0.58    | 2.15      |
| 비교예 3 | 0.56        | 7.57              | 0.58    | 2.45      |
| 비교예 4 | 0.53        | 6.65              | 0.65    | 2.30      |
| 비교예 5 | 0.52        | 0.76              | 0.54    | 0.21      |
| 비교예 6 | 0.56        | 2.57              | 0.61    | 0.86      |
| 비교예 7 | 0.55        | 5.33              | 0.54    | 1.60      |
| 비교예 8 | 0.58        | 6.19              | 0.55    | 2.00      |
| 실시예 1 | 0.56        | 5.97              | 0.63    | 2.10      |
| 실시예 2 | 0.54        | 7.03              | 0.67    | 2.54      |

표 2 및 도 12에 따르면, 반응가스로 산소가스를 사용하는 비교예 1 내지 비교예 4 중에서 비교예 3의 단락 전류밀도가 가장 우수한 것을 확인할 수 있다. 이를 통해, 염료감응형 태양전지의 단락 전류밀도는 주입되는 산소가스의 유량 즉, 나노분말의 크기에 비례하여 증가하는 것은 아니고, 5 l/min의 유량으로 산소가스가 주입되었을 때 단락 전류밀도가 가장 우수한 것을 알 수 있다.

또한, 비교예 1 내지 비교예 4 중에서 비교예 3의 광전변환효율이 2.45 %로 가장 우수하므로, 산소의 유량이 5 l/min로 주입되어 제조된 산화아연 나노분말이 도입되어 제조된 태양전지의 광전변환효율이 가장 우수한 것을 알 수 있다. 이를 통해, 7 l/min 이상의 유량으로 산소가스가 주입되었을 때에는 산소가스로부터 분해된 산소 원자의 강한 공급으로 인해 생성되는 분말의 크기가 커져 표면적이 줄어들고 따라서 염료가 담지될 수 있는 면적이 작아지기 때문에 상대적으로 광자를 수집하는 능력이 줄어들어 유량이 5 l/min인 경우에 광전변환효율이 더 높게 나타나는 것을 알 수 있다.

표 2 및 도 13에 따르면, 비교예 5 내지 비교예 8 중에서 비교예 8의 단락전류밀도 및 광전변환효율이 가장 우수한 것을 확인할 수 있다. 반응가스로 이산화탄소를 사용하는 경우 산화력이 상대적으로 약하여 반응가스의 공급 유량이 강할수록 아연 분말이 충분히 산화되기 때문이다.

또한, 비교예 5 내지 비교예 8에서 제조된 산화아연 나노분말을 이용한 광전극의 광전특성이 비교예 1 내지 비교예 4 및 실시예 1 내지 실시예 2에 비해 상대적으로 낮은 것을 확인할 수 있는데, 이는 상대적으로 산화력이 약한 이산화탄소를 반응가스로 사용하면 아연분말이 충분히 산화되지 않아 도 7에서 확인할 수 있는 바와 같이 미반응된 아연 입자가 분말에 포함되어 있어, 산화아연 나노분말에 포함된 미반응된 아연이 광전효과를 저해시키는데 영향을 미치기 때문이다. 그러나 상대적으로 곡선인자의 값은 저하되지 않은 것을 확인할 수 있는데, 이를 통해 반응가스로 산소와 이산화탄소를 적절한 비율로 혼합하여 사용하는 경우 미반응된 아연이 발생하지 않아 광전변환효율이 상승할 수 있음을 예상할 수 있다

표 2 및 도 14에 따르면, 반응가스로 산소와 이산화탄소의 혼합가스를 사용하는 실시예 1 내지 실시예 2의 광전변환효율은 2 % 이상으로 우수한 효율을 나타낸다. 또한, 이중에서 산소 가스와 이산화탄소 가스 비율이 4:1인 실시예 2에서 광전변환효율이 2.54 %로 가장 우수함을 확인할 수 있다. 이를 통해 이산화탄소 가스와 산소가스가 혼합된 가스를 반응가스로 플라즈마 처리하여 제조된 산화아연 나노분말은 도 8에서 확인할 수 있는 바와 같이 다양한 형태로 구성되어 표면적이 넓고, 1차원 나노구조로 인하여 전자가 빠르게 이동할 수 있어 광전효과가

향상될 수 있음을 알 수 있다.

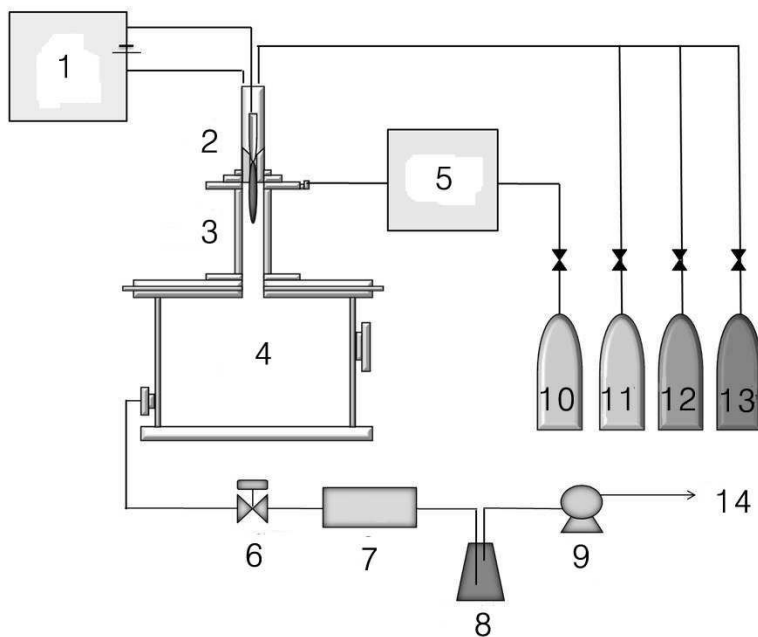
### 부호의 설명

[0097]

- 1: 직류전원공급장치(DC power supply)
- 2: 플라스마 토치(Plasma torch)
- 3: 반응튜브(Reaction tube)
- 4: 챔버(Chamber)
- 5: 분말 주입장치(Powder Feeder)
- 6: 압력제어장치(pressure controller)
- 7: 여과기(filter)
- 8: 스크러버(scrubber)
- 9: 진공펌프(Vacuum pump)
- 10: 아르곤(Ar)
- 11: 아르곤(Ar)
- 12: 산소(O<sub>2</sub>)
- 13: 이산화탄소(CO<sub>2</sub>)
- 14: 배기구(Exhaust)

### 도면

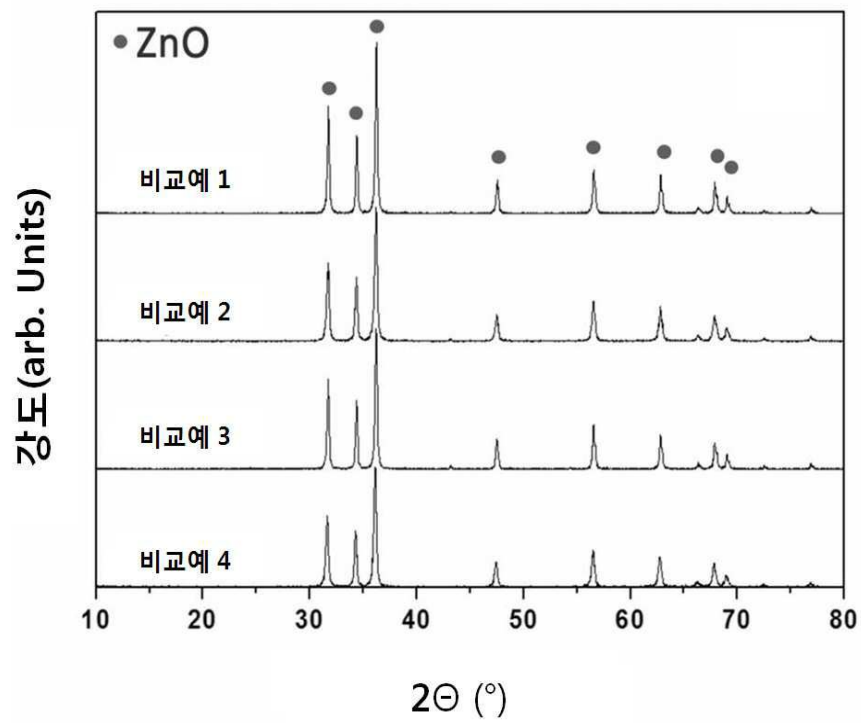
#### 도면1



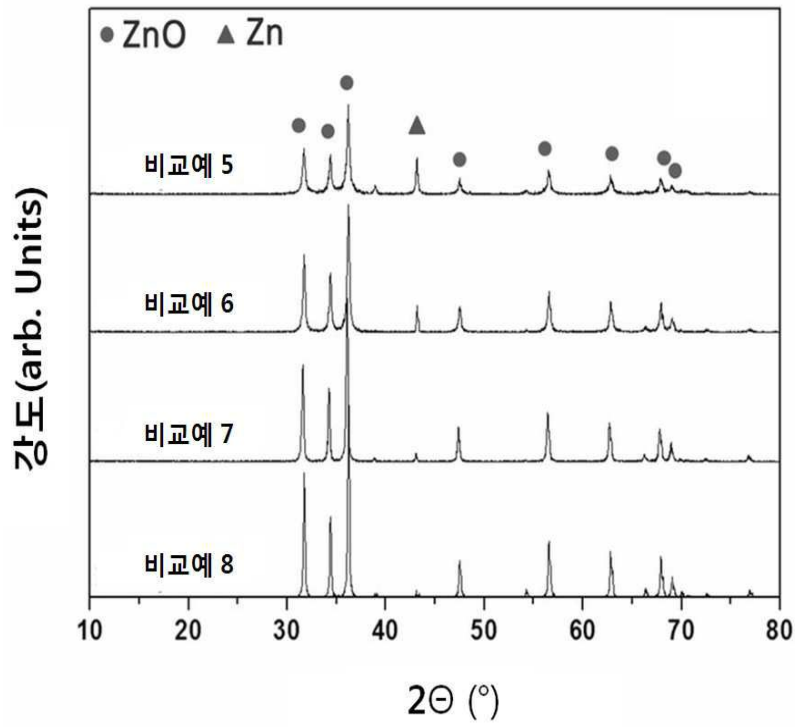
도면2



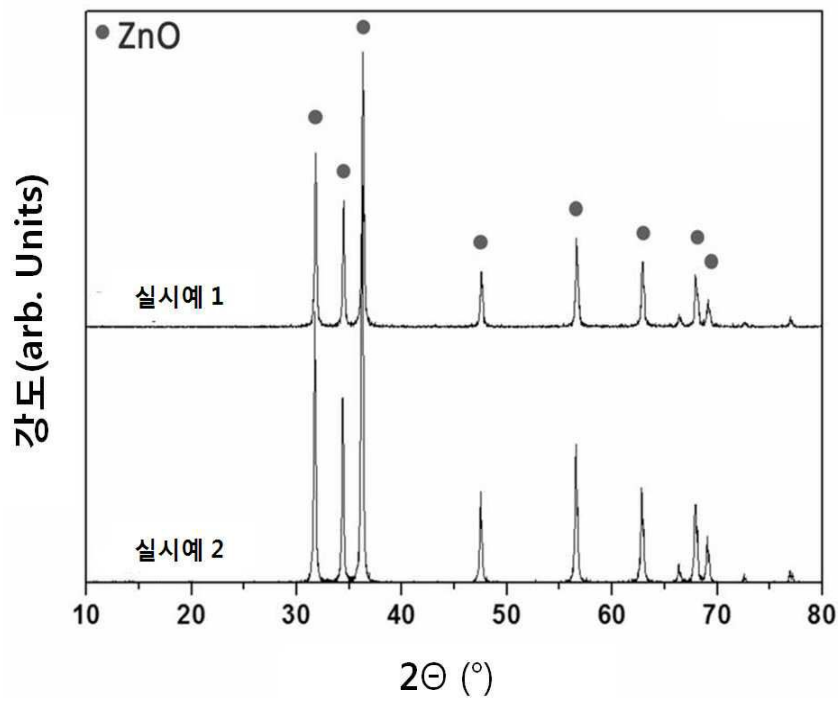
도면3



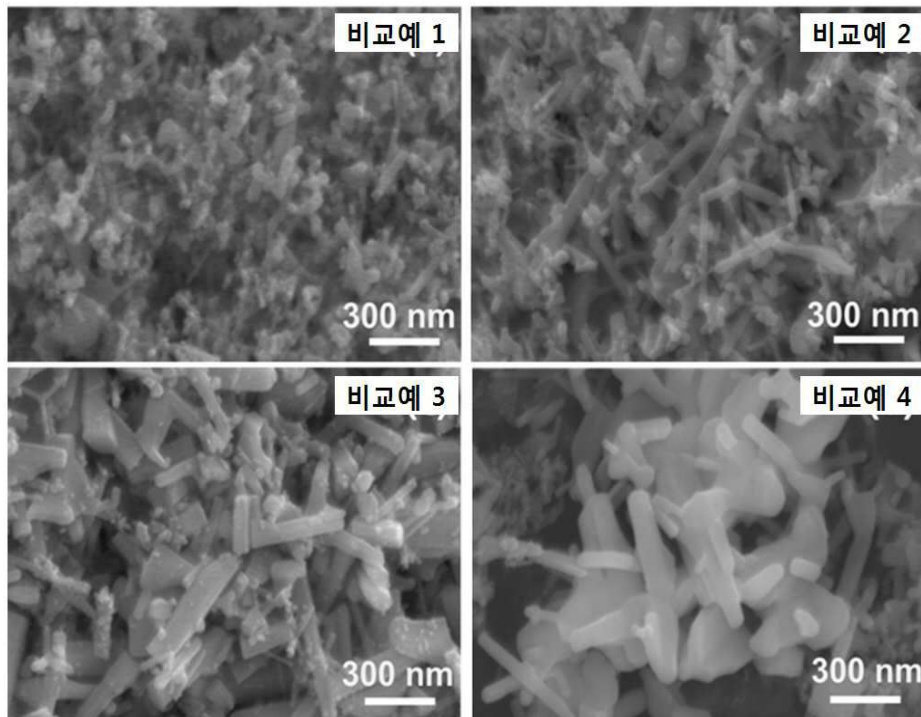
도면4



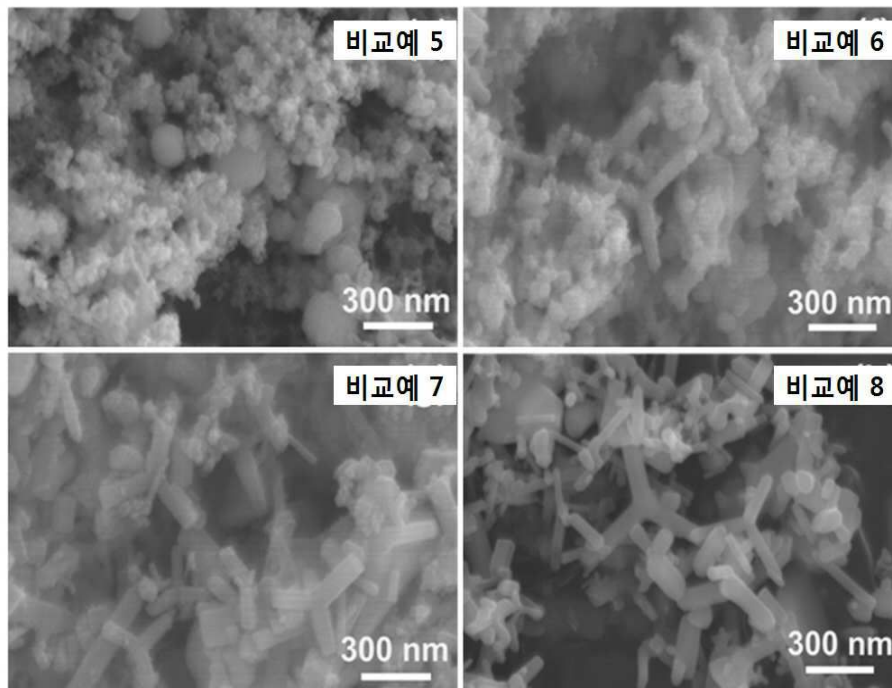
도면5



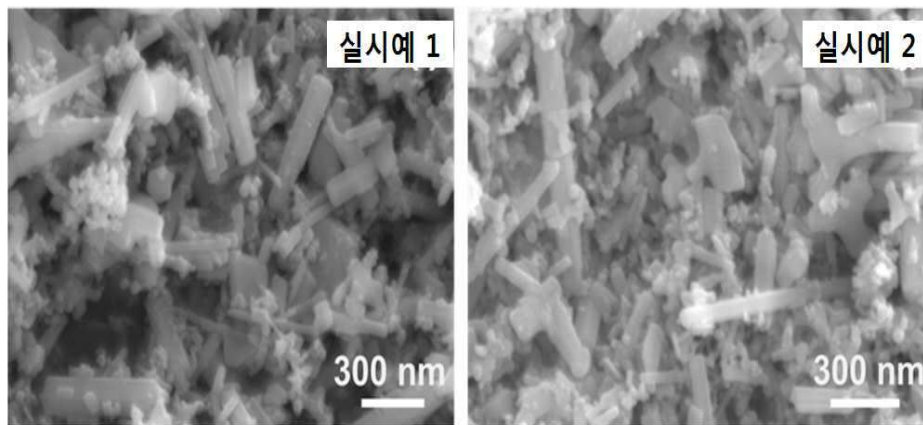
도면6



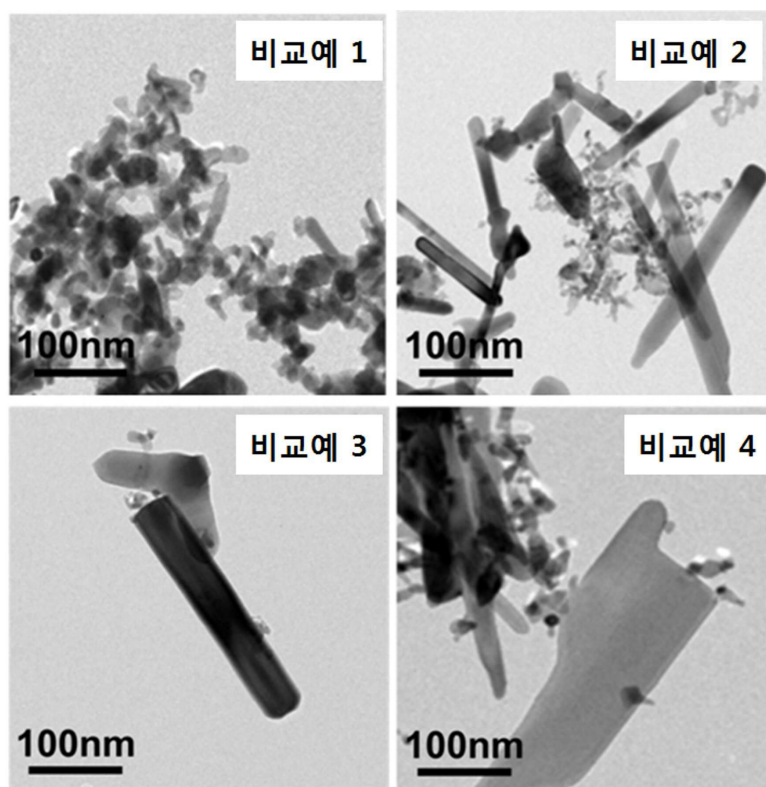
도면7



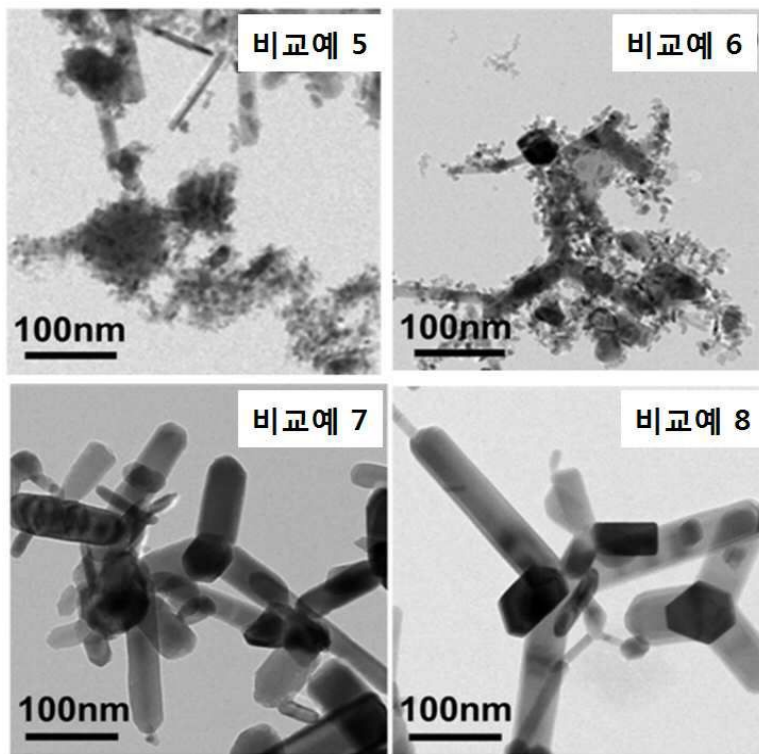
도면8



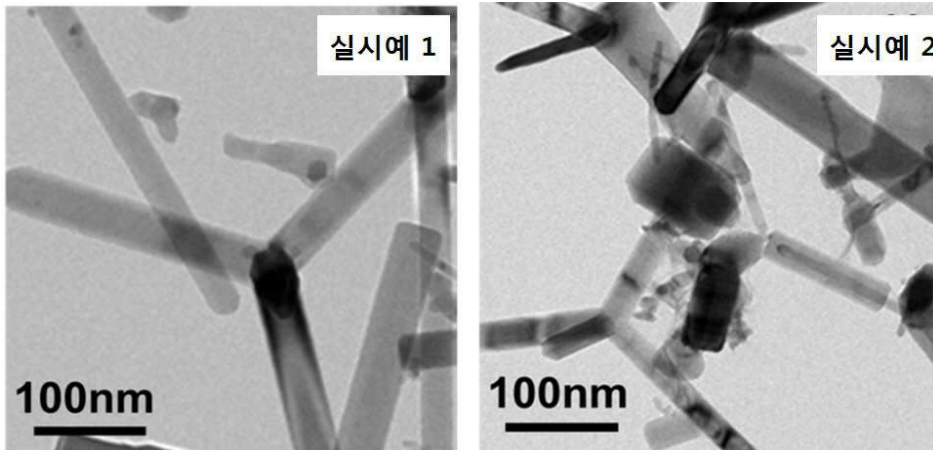
도면9



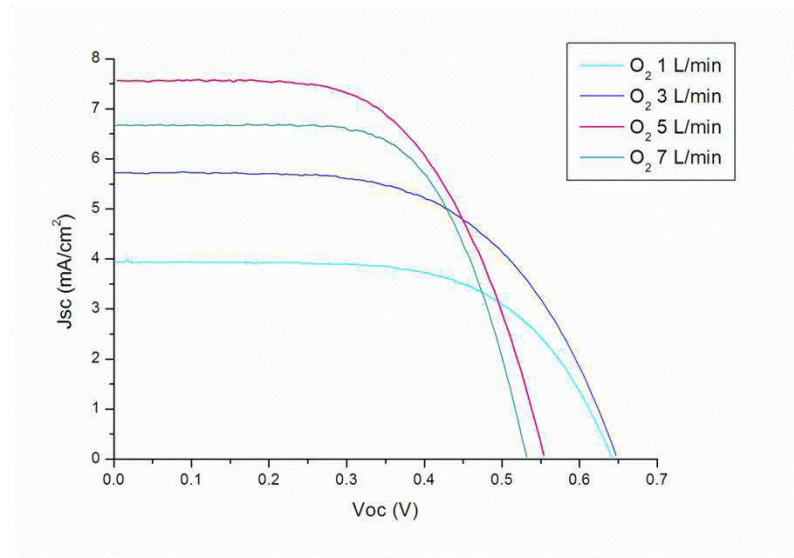
도면10



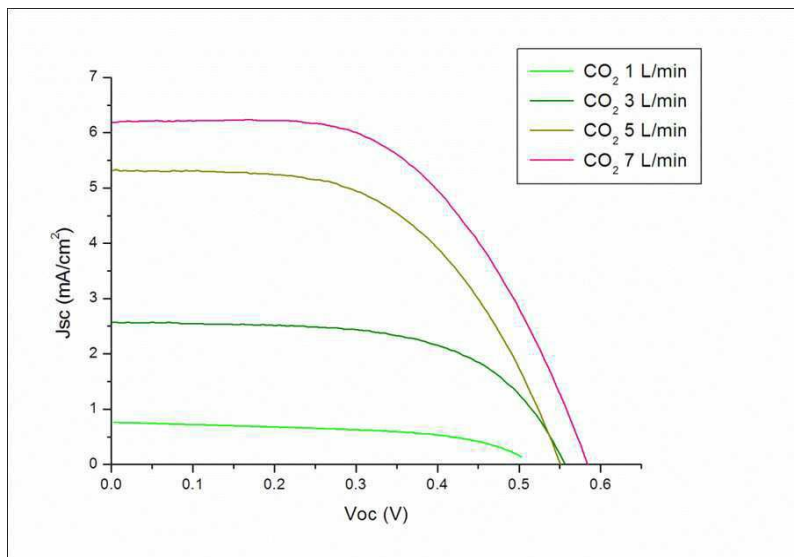
도면11



도면12



도면13



도면14

