

	(19) 대한민국특허청(KR) (12) 공개특허공보(A)	(11) 공개번호 10-2016-0112044 (43) 공개일자 2016년09월28일
(51) 국제특허분류(Int. Cl.) C01G 23/047 (2006.01) H01L 31/0256 (2006.01) (52) CPC특허분류 C01G 23/047 (2013.01) C01G 23/04 (2013.01) (21) 출원번호 10-2015-0036624 (22) 출원일자 2015년03월17일 심사청구일자 2015년03월17일		(71) 출원인 인하대학교 산학협력단 인천광역시 남구 인하로 100, 인하대학교 (용현동) (72) 발명자 이원인 서울특별시 영등포구 도신로 31 (대림동, 현대 3차아파트) 현대3차아파트 306-1102 김현빈 전라북도 전주시 완산구 세내로 239 107동 1901호 (효자동2가, 포스코더샵아파트) (74) 대리인 이원희

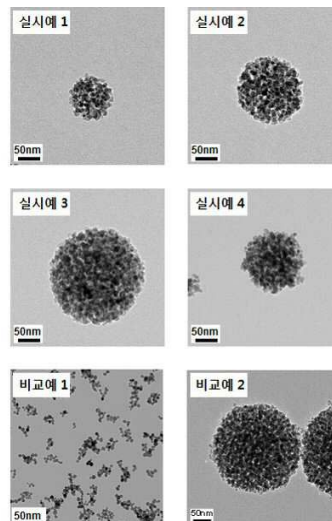
전체 청구항 수 : 총 16 항

(54) 발명의 명칭 티탄산화물 구형구조체 및 이를 포함하는 태양전지

(57) 요약

본 발명은 티탄산화물 나노입자를 포함하는 티탄산화물 구형구조체이되, 직경이 70 nm 내지 200 nm인 것을 특징으로 하는 티탄산화물(titanium dioxide, TiO_2) 구형구조체를 제공한다. 본 발명에 따른 티탄산화물 구형구조체는 70 nm 내지 200 nm의 직경을 가짐으로써 태양전지로 적용할 경우 종래 250 nm 이상의 직경을 가지는 티탄산화물 구형구조체를 포함하는 태양전지보다 우수한 성능을 나타내는 효과가 있다. 또한, 본 발명에 따른 티탄산화물 구형구조체의 제조방법은 증류수의 함량을 조절하여 70 nm 내지 200 nm 직경의 원하는 크기로 티탄산화물 구형구조체를 제조할 수 있다.

대표도 - 도1



(52) CPC특허분류

H01L 31/0256 (2013.01)

C01P 2004/64 (2013.01)

Y02E 10/50 (2013.01)

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호 49314-1

부처명 교육부

연구관리전문기관 한국연구재단

연구사업명 BK21 플러스 사업(교비_BK21C_화학, 화학공학)

연구과제명 (교비-2차년도)분자촉매 설계 및 응용 연구 사업단

기 여 율 1/1

주관기관 인하대학교 산학협력단

연구기간 2014.03.01 ~ 2015.02.28

명세서

청구범위

청구항 1

티탄산화물 나노입자를 포함하는 티탄산화물 구형구조체이되,
직경이 70 nm 내지 200 nm인 것을 특징으로 하는 티탄산화물(titanium dioxide, TiO_2) 구형구조체.

청구항 2

제1항에 있어서,
상기 티탄산화물 구형구조체는 최소 직경과 최대 직경의 비율이 0.7 내지 1.0인 것을 특징으로 하는 티탄산화물 구형구조체.

청구항 3

알코올과 알콕시나이트릴이 부피비 20 : 80 내지 70 : 30로 혼합된 용매에 아민계 염기촉매, 증류수 및 티탄 알콕사이드를 혼합하여 입자를 형성하는 단계(단계 1); 및
상기 단계 1에서 형성된 입자를 용매에 분산시킨 후, 용매열 반응을 통해 열처리 및 결정화하는 단계(단계 2);
를 포함하는 직경이 70 nm 내지 200 nm인 것을 특징으로 하는 티탄산화물(titanium dioxide, TiO_2) 구형구조체의 제조방법.

청구항 4

제3항에 있어서,
상기 단계 1의 용매는 알코올과 알콕시나이트릴이 부피비 35 : 65 내지 40 : 60으로 혼합된 용매인 것을 특징으로 하는 티탄산화물 구형구조체의 제조방법.

청구항 5

제3항에 있어서,
상기 단계 1의 알코올은 프로판올($\text{C}_3\text{H}_8\text{O}$) 또는 부탄올($\text{C}_4\text{H}_{10}\text{O}$)인 것을 특징으로 하는 티탄산화물 구형구조체의 제조방법.

청구항 6

제3항에 있어서,
상기 단계 1의 알콕시나이트릴은 아세트나이트릴, 프로피온나이트릴, 뷰틸로나이트릴, 아크릴로나이트릴, 메틸글리콜 및 뷰틸아세테이트로 이루어지는 군으로부터 선택되는 1 종 이상인 것을 특징으로 하는 티탄산화물 구형구조체의 제조방법.

청구항 7

제3항에 있어서,

상기 단계 1의 아민계 염기촉매는 프로필, 부틸, 헥실, 헵틸 및 옥실로 이루어지는 군으로부터 선택되는 1 종 이상의 알킬기를 갖는 알킬아민계 염기촉매인 것을 특징으로 하는 티탄산화물 구형구조체의 제조방법.

청구항 8

제3항에 있어서,

상기 단계 1의 용매에 혼합되는 아민계 염기촉매의 농도는 0.002 M 내지 0.1 M인 것을 특징으로 하는 티탄산화물 구형구조체의 제조방법.

청구항 9

제3항에 있어서,

상기 단계 1의 용매 및 증류수의 혼합 비율은 부피비로 100 : 0.1 내지 3.0인 것을 특징으로 하는 티탄산화물 구형구조체의 제조방법.

청구항 10

제3항에 있어서,

상기 단계 1의 티탄 알콕사이드는 이소프로폭시 티탄, 에톡시 티탄 및 부톡시 티탄으로 이루어지는 군으로부터 선택되는 1 종 이상인 것을 특징으로 하는 티탄산화물 구형구조체의 제조방법.

청구항 11

제3항에 있어서,

상기 단계 2에서 용매열 반응이 수행되는 온도는 200 °C 내지 260 °C인 것을 특징으로 하는 티탄산화물 구형구조체의 제조방법.

청구항 12

제3항에 있어서,

상기 단계 2에서 용매열 반응이 수행되는 시간은 1 시간 내지 24 시간인 것을 특징으로 하는 티탄산화물 구형구조체의 제조방법.

청구항 13

제1항의 티탄산화물(titanium dioxide, TiO_2) 구형구조체를 포함하는 티탄산화물 페이스트.

청구항 14

제13항에 있어서,

상기 티탄산화물 구형구조체의 함량은 전체 티탄산화물 페이스트에 대하여 1 중량% 내지 30 중량% 인 것을 특징

으로 하는 티탄산화물 페이스트.

청구항 15

제1항의 티탄산화물(titanium dioxide, TiO_2) 구형구조체를 포함하는 광전극을 포함하는 태양전지.

청구항 16

제15항에 있어서,

상기 태양전지는 염료감응 태양전지, 페로브스카이트($\text{CH}_3\text{NH}_3\text{PbI}_3$ 및 Br, Cl 등이 도핑된 $\text{CH}_3\text{NH}_3\text{PbI}_3$) 태양전지, Sb_2S_3 태양전지 및 $\text{Sb}_2\text{S}_x\text{Se}_{3-x}$ ($x=0-3$) 태양전지로 이루어진 군으로부터 선택되는 1 종인 것을 특징으로 하는 태양전지.

발명의 설명

기술 분야

[0001] 본 발명은 티탄산화물 구형구조체 및 이를 포함하는 태양전지에 관한 것으로, 상세하게는 직경이 70 nm 내지 200 nm인 티탄산화물 구형구조체 및 이를 포함하는 광전극을 포함하는 태양전지에 관한 것이다.

배경 기술

[0002] 티탄산화물은 광촉매로 이용되거나 여러 촉매의 담지체로 사용되고 있다. 또한, 염료감응 태양전지(dye-sensitized solar cell, DSSC), 양자점 감응 태양전지(quantum dot sensitized solar cell, QDSSC), 페로브스카이트 태양전지(Perovskite solar cell)와 같은 유무기혼성 태양전지(organic inorganic hybrid solar cell)의 다공성 광전극으로 응용되고 있다. 광전극 제작에 적용하는 나노입자의 크기는 태양전지의 광전변환효율을 결정하는 대단히 중요한 인자이다. 생성된 다공성 티탄산화물 막의 표면적과 기공(pore)의 크기를 결정하기 때문이다.

[0003] 티탄산화물 나노입자는 일반적으로 수열반응을 통하여 합성한다. 아세테이트 법을 사용하는 경우, 생성된 입자의 크기는 대략 20 nm 정도이다. 약 20 nm 크기의 티탄산화물 나노입자는 티탄산화물 광전극을 제작하는 경우 기공크기가 비교적 작다. 이는 염료감응형 태양전지의 광전극 제작 목적으로는 어느 정도 적합한 수준이나, 유무기혼성 태양전지의 다공성 광전극 제작에는 적합하지 않다. 염료감응형 태양전지와 유무기혼성 태양전지 모두에게 적합한 광전극을 만들기 위해, 광전극의 기공의 크기를 증가시킬 필요가 있다.

[0004] 이러한 티탄산화물 다공성 물질의 기공을 더 크게 만들기 위하여 다공성 구형구조체를 형성하는 방법이 있다. 티탄산화물 다공성 구형구조체는 일반적으로 10 - 20 nm 크기의 티탄산화물 나노입자가 서로 응집되어 다공성 구형구조체를 형성하고 있다. 이를 코팅하여 광전극을 제작하면, 구형구조체와 구형구조체 사이의 외부기공(external pore)과 구형구조체 내부에 존재하는 내부기공(internal pore) 등 2종류의 기공이 다공성 막에 형성된다. 외부기공은 크기가 매우 커서 이 기공을 통한 전해질의 이동이나 외부에서 주입하는 물질의 이동이 용이하다. 내부기공은 크기가 매우 작아 이 기공을 통한 전해질이나 다른 물질의 이동이 쉽지 않지만 내부기공의 채널길이가 짧으므로(최대 길이는 구형구조체 직경의 1/2에 해당함), 전반적으로 구형구조체로 이루어진 다공성 광전극막은 종래의 나노입자로 이루어진 광전극막에 비해 전해질이나 외부에서 주입한 물질이 원활하게 기공 내부로 이동할 수 있다.

[0005] 기공의 크기가 큰 광전극을 만들기 위한 방법으로, 대한민국 등록특허 제10-1020493호에는 티탄산화물 나노입자

를 포함하는 티탄산화물 다공성 구형구조체를 합성하는 방법이 기재된 바 있다. 일반적으로 티탄산화물 다공성 구형구조체는 염기성 하에서 수열반응을 통해 합성한다. 염기성 하에서 메틸아민(methylamine)과 같은 아민을 졸 겔 반응 촉진제로 첨가해주는 경우, 다공성 구형구조체의 크기를 250 - 1,000 nm 크기로 합성할 수 있다.

[0006] 내부기공의 채널길이는 구형구조체 직경의 1/2에 해당하므로, 구형구조체의 직경이 작을수록 내부기공의 채널길이 짧아 전해질이나 외부에서 주입한 물질의 이동이 원활할 것이다. 기존에 연구된 티탄산화물 다공성 구형구조체의 직경은 250 nm 이상이며, 태양전지에 적용하여 우수한 성능을 나타내기 위해서는 더욱 작은 크기의 다공성 구형구조체가 필요할 것이다. 하지만, 더 작은 크기의 다공성 구형구조체는 전세계적으로 지금까지 연구되어 발표된 바 없다. 티탄산화물 구형구조체의 합성에 있어서, 크기에 영향을 끼치는 가장 중요한 인자는 졸 겔 반응에 첨가한 물의 양이다. 물의 첨가량이 많아질수록 구형구조체의 크기는 감소하지만, 첨가하는 물의 양을 과도하게 증가시키면 졸 겔 반응을 조절할 수 없어 구형구조체의 크기와 모양을 제어할 수 없다. 따라서, 기존의 방법으로는 제어할 수 있는 최소크기의 티탄산화물 구형구조체는 250 nm이었다.

[0007] 이에, 본 발명자들은 티탄산화물 구형구조체에 대하여 연구하던 중, 직경이 70 nm 내지 200 nm인 티탄산화물 구형구조체를 개발하였으며, 상기 직경을 가짐으로써 구형구조체 내의 밀도가 높고 다공성 필름의 기공이 크므로 전자전달에 매우 유리한 구조인 것을 발견하고 본 발명을 완성하였다.

발명의 내용

해결하려는 과제

[0008] 본 발명의 목적은 태양전지에 적용할 때 가장 우수한 성능을 나타내는 직경을 가지는 티탄산화물 구형구조체, 이의 제조방법 및 이를 포함하는 광전극을 포함하는 태양전지를 제공하는 데 있다.

과제의 해결 수단

[0009] 상기 목적을 달성하기 위하여, 본 발명은

[0010] 티탄산화물 나노입자를 포함하는 티탄산화물 구형구조체이되,

[0011] 직경이 70 nm 내지 200 nm인 것을 특징으로 하는 티탄산화물(titanium dioxide, TiO_2) 구형구조체를 제공한다.

[0012] 또한, 본 발명은

[0013] 알코올과 알콕시나이트릴이 부피비 20 : 80 내지 70 : 30으로 혼합된 용매에 아민계 염기촉매, 증류수 및 티탄 알콕사이드를 혼합하여 입자를 형성하는 단계(단계 1); 및

[0014] 상기 단계 1에서 형성된 입자를 용매에 분산시킨 후, 용매열 반응을 통해 열처리 및 결정화하는 단계(단계 2); 를 포함하는 직경이 70 nm 내지 200 nm인 것을 특징으로 하는 티탄산화물(titanium dioxide, TiO_2) 구형구조체의 제조방법을 제공한다.

[0015] 나아가, 본 발명은

[0016] 상기의 티탄산화물(titanium dioxide, TiO_2) 구형구조체를 포함하는 티탄산화물 페이스트를 제공한다.

[0017] 더욱 나아가, 본 발명은

[0018] 상기의 티탄산화물(titanium dioxide, TiO_2) 구형구조체를 포함하는 광전극을 포함하는 태양전지를 제공한다.

발명의 효과

[0019] 본 발명에 따른 티탄산화물 구형구조체는 70 nm 내지 200 nm의 직경을 가짐으로써 태양전지로 적용할 경우 종래 250 nm 이상의 직경을 가지는 티탄산화물 구형구조체를 포함하는 태양전지보다 우수한 성능을 나타내는 효과가 있다. 또한, 본 발명에 따른 티탄산화물 구형구조체의 제조방법은 증류수의 함량을 조절하여 70 nm 내지 200 nm 직경의 원하는 크기로 티탄산화물 구형구조체를 제조할 수 있다.

도면의 간단한 설명

[0020] 도 1은 본 발명에 따른 실시예 1 내지 4에서 제조된 티탄산화물 구형구조체를 투과 전자 현미경(TEM)으로 관찰한 사진이고;

도 2는 본 발명에 따른 실시예 1, 비교예 3 및 비교예 4에서 제조된 티탄산화물 구형구조체를 주사 전자 현미경(SEM)으로 관찰한 사진이고;

도 3은 본 발명에 따른 실시예 1 내지 3에서 제조된 티탄산화물 구형구조체를 X-선 회절 분석기로 분석한 그래프이고;

도 4는 본 발명에 따른 실시예 8 내지 10 및 비교예 6 내지 8에서 제조된 염료감응 태양전지의 광전류밀도-개방전압 그래프이고;

도 5는 본 발명에 따른 실시예 11 내지 13 및 비교예 9 내지 11에서 제조된 페로브스카이트 태양전지의 광전류밀도-개방전압 그래프이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0021] 본 발명은

[0022] 티탄산화물 나노입자를 포함하는 티탄산화물 구형구조체이되,

[0023] 직경이 70 nm 내지 200 nm인 것을 특징으로 하는 티탄산화물(titanium dioxide, TiO_2) 구형구조체를 제공한다.

[0024] 이하, 본 발명에 따른 티탄산화물 구형구조체에 대하여 상세히 설명한다.

[0025] 본 발명에 따른 티탄산화물 구형구조체는 직경이 70 nm 내지 200 nm인 것을 특징으로 한다. 직경이 70 nm 미만의 티탄산화물 구형구조체는 합성 자체가 어려운 문제가 있으며, 200 nm를 초과하는 경우에는 티탄산화물 구형구조체의 표면적은 넓으나 내부기공의 크기가 작아 내부기공 내로 전해질의 이동이 우수하지 못하다. 즉, 티탄산화물 구형구조체의 크기가 커질수록 내부동공 안으로 전해질의 이동거리가 길어지기 때문에 태양전지로 적용할 경우 태양전지의 광전변환효율이 떨어지는 문제가 있다.

[0026] 또한, 상기 티탄산화물 구형구조체는 최소 직경과 최대 직경의 비율이 0.7 내지 1.0인 것이 바람직하다. 상기 최소 직경과 최대 직경은 티탄산화물 구형구조체가 정확히 구형을 이루지 않고 있을 경우의 최소 직경과 최대 직경을 나타내는 것으로, 티탄산화물 구형구조체의 최소 직경과 최대 직경의 비율이 0.7 내지 1.0인 것이 바람직하다.

[0027] 종래에 연구된 티탄산화물 다공성 구형구조체는 직경이 약 250 nm 이상으로, 태양전지에 적용하기에 알맞지 않은 크기이다. 태양전지에 적용하여 우수한 성능을 나타내기 위해서는 더욱 작은 크기의 다공성 구형구조체가 필요하다, 더 작은 크기의 다공성 구형구조체는 지금까지 연구된 바가 없다.

- [0028] 이에, 본 발명에서는 직경이 70 nm 내지 200 nm인 티탄산화물 구형구조체를 제공하며, 상기 범위의 직경을 가지므로써 구형구조체 내의 밀도가 높고 다공성 필름의 기공이 크므로 전자전달에 매우 유리한 구조를 가질 수 있다.
- [0029] 또한, 본 발명은
- [0030] 알코올과 알콕시나이트릴이 부피비 20 : 80 내지 70 : 30으로 혼합된 용매에 아민계 염기촉매, 증류수 및 티탄 알콕사이드를 혼합하여 입자를 형성하는 단계(단계 1); 및
- [0031] 상기 단계 1에서 형성된 입자를 용매에 분산시킨 후, 용매열 반응을 통해 열처리 및 결정화하는 단계(단계 2);를 포함하는 직경이 70 nm 내지 200 nm인 것을 특징으로 하는 티탄산화물(titanium dioxide, TiO_2) 구형구조체의 제조방법을 제공한다.
- [0032] 이하, 본 발명에 따른 티탄산화물(titanium dioxide, TiO_2) 구형구조체의 제조방법에 대하여 각 단계별로 상세히 설명한다.
- [0033] 먼저, 본 발명에 따른 티탄산화물 구형구조체의 제조방법에 있어서, 단계 1은 알코올과 알콕시나이트릴이 부피비 20 : 80 내지 70 : 30으로 혼합된 용매에 아민계 염기촉매, 증류수 및 티탄 알콕사이드를 혼합하여 입자를 형성하는 단계이다.
- [0034] 상기 단계 1에서는 알코올과 알콕시나이트릴이 혼합된 용매에 아민계 염기촉매, 증류수 및 티탄 알콕사이드를 혼합하여 입자를 형성하되, 특히, 알코올로 2-프로판올 등의 프로판올 또는 n-부탄올 등의 부탄올을 사용함으로써 작은 크기의 구형구조체를 제조할 수 있다.
- [0035] 종래에는 알코올 용매로 에탄올을 사용하여 약 250 nm 내지 800 nm 직경의 큰 구형구조체를 제조하였다. 그러나, 본 발명에서는 알코올 용매로 프로판올 또는 부탄올을 사용함으로써 태양전지에 적용하기에 가장 적절한 70 nm 내지 200 nm 직경의 티탄산화물 구형구조체를 제조할 수 있다.
- [0036] 구체적으로, 상기 단계 1의 용매는 알코올과 알콕시나이트릴이 부피비 20 : 80 내지 70 : 30으로 혼합된 용매인 것이 바람직하고, 35 : 75 내지 45 : 55인 것이 더욱 바람직하고, 40 : 60인 것이 가장 바람직하다.
- [0037] 또한, 상기 단계 1의 알코올은 프로판올($\text{C}_3\text{H}_8\text{O}$) 또는 부탄올($\text{C}_4\text{H}_{10}\text{O}$)을 사용하는 것이 바람직하며, 2-프로판올, n-프로판올, n-부탄올, 2-부탄올, tert-부탄올 등을 사용하는 것이 바람직하다.
- [0038] 나아가, 상기 단계 1의 알콕시나이트릴은 아세토나이트릴, 프로피온나이트릴, 뷰틸로나이트릴, 아크릴로나이트릴, 메틸 글리콜 및 뷰틸아세테이트를 사용할 수 있으나 이에 제한되지 않는다.
- [0039] 또한, 상기 단계 1의 아민계 염기촉매는 프로필, 부틸, 헥실, 헵틸 및 옥실 등의 알킬기를 갖는 알킬아민계 염기촉매를 사용하는 것이 바람직하고, 부틸 아민을 사용하는 것이 가장 바람직하다.
- [0040] 나아가, 상기 단계 1의 용매에 혼합되는 아민계 염기촉매의 농도는 0.002 M 내지 0.1 M일 수 있다.
- [0041] 이렇게 하면 물의 양을 조절하여 손쉽게 티타늄 알콕사이드의 가수분해 속도를 조절할 수 있다. 또한, 상기 염기촉매로 인해 가수분해와 축합반응이 분리되어, 형성되는 티타늄(Ti)의 줄겔 체인구조가 짧아지며, 형성된 티탄산화물 구형구조체의 표면에 흡착된 부틸아민이 효과적으로 티탄산화물 구형구조체 간의 응집을 막기 때문에 결정성이 우수하고 형상과 크기가 균일한 구형구조체를 제조할 수 있다.
- [0042] 즉, 본 발명에서는 티탄산화물 구형구조체의 크기를 크게 감소시키기 위해, 첨가하는 아민촉매를 메틸 아민

(methyl amine)에서 부틸 아민(butyl amine)으로 바꾸고, 용매를 에탄올(ethanol)에서 2-프로판올(2-propanol) 또는 n-부탄올(n-butanol) 등으로 바꾸어 주었다. 이와 같이, 상대적으로 소수성 용매를 사용함으로써, 형성된 티타늄(Ti) 졸겔 선구물질의 체인구조가 짧아진다. 또한, 메틸아민보다 상대적으로 소수성인 부틸아민(butyl amine)을 사용함으로써, 형성된 티탄산화물 구형구조체 표면에 흡착된 부틸아민이 좀 더 효율적으로 티탄산화물 구형구조체 간의 응집을 막아준다. 결과적으로, 과량의 물이 첨가되는 티타늄(Ti) 졸겔 반응이 보다 안정적으로 제어될 수 있으므로, 작은 크기의 티탄산화물 구형구조체 형성이 용이해진다.

[0043] 또한, 상기 단계 1의 용매 및 증류수의 혼합 비율은 부피비로 100 : 0.1 내지 3.0인 것이 바람직하고, 100 : 0.25 내지 2.5인 것이 더욱 바람직하고, 100 : 0.85 내지 2.3인 것이 가장 바람직하다. 만약, 상기 단계 1의 용매 및 증류수의 혼합 비율이 부피비로 100 : 0.1 미만일 경우에는 가수분해 속도가 느려지기 때문에 티탄산화물 다공성 구형구조체의 크기가 커지는 문제가 있으며, 100 : 3.0을 초과하는 경우에는 가수분해 속도가 너무 빨라져 다공성 구형구조체의 크기제어가 어려운 문제가 있다. 용매와 증류수의 혼합 비율을 조절하여 다공성 구형구조체의 크기를 제어할 수 있다.

[0044] 나아가, 상기 단계 1의 티탄 알콕사이드는 이소프로폭시 티탄, 에톡시 티탄 및 부톡시 티탄 등을 사용할 수 있으나, 이에 제한되지 않는다.

[0045] 다음으로, 본 발명에 다른 티탄산화물 구형구조체의 제조방법에 있어서, 단계 2는 상기 단계 1에서 형성된 입자를 용매에 분산시킨 후, 용매열 반응을 통해 열처리 및 결정화하는 단계이다.

[0046] 상기 단계 2에서는 상기 단계 1에서 2-프로판올 또는 n-부탄올 등의 알코올과 알콕시나이트릴이 적정 비율로 혼합된 용매와 아민계 염기촉매, 증류수 및 티탄 알콕사이드를 혼합하여 형성된 입자를 또 다른 용매에 분산시키고, 용매열 반응을 통해 열처리 및 결정화를 수행한다.

[0047] 구체적으로, 상기 단계 2의 용매는 알코올 및 증류수가 혼합된 용매인 것이 바람직하다. 구체적인 일례로써, 상기 단계 2의 용매는 2-프로판올과 증류수가 1 : 1의 부피비로 혼합된 것을 사용할 수 있다.

[0048] 또한, 상기 단계 2에서 용매열 반응이 수행되는 온도는 200 ℃ 내지 260 ℃이고, 상기 단계 2에서 용매열 반응이 수행되는 시간은 1 시간 내지 24 시간인 것이 바람직하다. 만약, 상기 단계 2에서 용매열 반응이 수행되는 온도가 200 ℃ 미만일 경우에는 결정이 성장하는 데 어려움이 있어 생성된 아나타제 상의 결정성이 우수하지 못한 문제가 있으며, 260 ℃를 초과하는 경우에는 수열반응기 내부에 고압이 발생되므로 반응이 불안정하고, 반응기의 안정성 등에 문제가 있다.

[0049] 이러한 용매열 반응 동안 비정질의 구형구조체들은 결정핵이 생성되고 결정화가 진행되어 티탄산화물 나노입자가 응결되어 형성된 구형 구조체를 제조할 수 있다. 특히, 본 발명에 따른 티탄산화물 구형구조체는 직경이 70 nm 내지 200 nm 크기인 것이 바람직하다.

[0050] 나아가, 본 발명은

[0051] 상기의 티탄산화물(titanium dioxide, TiO_2) 구형구조체를 포함하는 티탄산화물 페이스트를 제공한다.

[0052] 본 발명에 따른 티탄산화물 페이스트는 일례로 티탄산화물 구형구조체, 터핀올(terpinol), 에틸셀룰로스를 포함할 수 있으며, 페이스트의 주원료인 티탄산화물 구형구조체의 함량은 전체 티탄산화물 페이스트에 대하여 1 중량% 내지 30 중량% 일 수 있다.

[0053] 또한, 상기 티탄산화물 페이스트를 제조하는 방법으로는 상기 페이스트 원료들을 페이스트 믹서(paste mixer)를

이용하여 섞어 준 후, 3-롤밀 (3-roll mill)을 이용하여 입자를 고르게 분산시켜 티탄산화물 페이스트를 제조할 수 있다.

[0054] 본 발명에 따른 티탄산화물 페이스트는 직경이 70 nm 내지 200 nm인 것을 특징으로 하는 티탄산화물 구형구조체를 포함한다. 상기 티탄산화물 구형구조체의 직경이 70 nm 미만인 경우 구형구조체는 합성 자체가 매우 어려워 실질적으로 제조할 수 없으며, 200 nm를 초과하는 경우에는 종래에 개발된 250 nm 이상의 티탄산화물 구형구조체가 갖는 일반적인 문제점을 보유한다. 즉, 구형구조체 내부동공의 채널길이가 길어져 전해질의 이동거리가 길어지기 때문에 태양전지로 적용할 경우 태양전지의 광전변환효율이 떨어지는 문제가 있다.

[0055] 더욱 나아가, 본 발명은

[0056] 상기의 티탄산화물(titanium dioxide, TiO_2) 구형구조체를 포함하는 광전극을 포함하는 태양전지를 제공한다.

[0057] 종래에 연구된 티탄산화물 다공성 구형구조체는 직경이 약 250 nm 이상으로, 태양전지에 적용하는 경우 광전변환효율이 부족한 문제가 있다.

[0058] 이때, 본 발명에 따른 티탄산화물 구형구조체는 70 nm 내지 200 nm의 직경을 가짐으로써, 본 발명에 따른 티탄산화물 구형구조체를 포함하는 광전극을 포함하는 태양전지는 종래 250 nm 이상의 직경을 가지는 티탄산화물 구형구조체를 포함하는 태양전지보다 우수한 성능을 나타낼 수 있다.

[0059] 이때, 상기 태양전지는 염료감응 태양전지, 페로브스카이트($CH_3NH_3PbI_3$ 및 Br, Cl 등이 도핑된 $CH_3NH_3PbI_3$) 태양전지, Sb_2S_3 태양전지 및 $Sb_2S_xSe_{3-x}$ ($x=0-3$) 태양전지 등일 수 있다.

[0060] 이하, 본 발명의 실시예 및 실험예를 통해 더욱 상세히 설명한다.

[0061] 단, 하기 실시예 및 실험예는 본 발명을 예시하는 것일 뿐 본 발명의 내용이 하기 실시예 및 실험예에 의해 한정되는 것은 아니다.

[0062] <실시예 1> 티탄산화물 구형구조체의 제조 1

[0063] 단계 1: 2-프로판올 30 ml와 아세트나이트릴 60 ml의 혼합 용매에 부틸 아민 염기촉매 0.1 ml, 증류수 0.92 ml를 용해시키고, 상기 혼합 용액에 2-프로판올 10 ml에 0.6 ml의 이소프로필 티탄(titanium isopropoxide, TTIP)을 용해시킨 용액을 첨가한 후, 1 시간 동안 교반하여 혼합하는 과정을 통해 입자를 형성하였다.

[0064] 단계 2: 상기 단계 1에서 형성된 입자를 알코올과 증류수로 1 ~ 3 회 세척하고, 세척된 입자를 다시 물과 2-프로판올(1:1 v/v%) 용매에 분산시킨 후, 고압 반응기에 넣고 260 °C의 온도에서 1 시간 동안 용매열 반응을 통해 열처리 및 결정화를 수행하여 티탄산화물 구형구조체를 제조하였다.

[0065] 이때, 상기 티탄산화물 구형구조체의 직경은 100 nm이고, 최소 직경과 최대 직경의 비율이 0.7 내지 1.0이다.

[0066] <실시예 2> 티탄산화물 구형구조체의 제조 2

[0067] 상기 실시예 1의 단계 1에서 증류수를 0.55 ml 사용한 것을 제외하고 상기 실시예 1과 동일하게 수행하여 티탄산화물 구형구조체를 제조하였다.

- [0068] 이때, 상기 티탄산화물 구형구조체의 직경은 150 nm이고, 최소 직경과 최대 직경의 비율이 0.7 내지 1.0이다.
- [0069] <실시예 3> 티탄산화물 구형구조체의 제조 3
- [0070] 상기 실시예 1의 단계 1에서 증류수를 0.34 ml 사용한 것을 제외하고 상기 실시예 1과 동일하게 수행하여 티탄산화물 구형구조체를 제조하였다.
- [0071] 이때, 상기 티탄산화물 구형구조체의 직경은 200 nm이고, 최소 직경과 최대 직경의 비율이 0.7 내지 1.0이다.
- [0072] <실시예 4> 티탄산화물 구형구조체의 제조 4
- [0073] 상기 실시예 1의 단계 1 및 단계 2에서 2-프로판올을 사용하지 않고 n-부탄올을 사용한 것을 제외하고 상기 실시예 1과 동일하게 수행하여 티탄산화물 구형구조체를 제조하였다.
- [0074] 이때, 상기 티탄산화물 구형구조체의 직경은 약 130 nm이고, 최소 직경과 최대 직경의 비율이 0.7 내지 1.0이다.
- [0075] <실시예 5-7> 티탄산화물 구형구조체를 포함한 페이스트의 제조 1-3
- [0076] 상기 실시예 1 내지 3에서 제조된 티탄산화물 구형구조체 1 g, 티편올 4 g, 에틸셀룰로스(46cp) 4 g 을 페이스트 믹서(paste mixer)를 이용하여 90 분간 섞어 준 뒤, 3-롤밀(3-roll mill)을 이용하여 입자가 고르게 분산된 티탄산화물 페이스트를 제조하였다.
- [0077] <실시예 8-10> 염료감응 태양전지의 제조 1-3
- [0078] 단계 1: 투명전극으로는 FTO를 사용하였으며 아세톤, 에탄올, 증류수 등으로 깨끗하게 세척한 후, 상기 투명전극에 티타늄(Ti) 0.15 M 용액을 스핀코팅법을 사용하여 500 rpm의 회전속도로 15 초, 3000 rpm의 회전속도로 45 초 동안 코팅하여 티탄산화물 차단층(blocking layer)을 형성하였다.
- [0079] 이후, 상기 실시예 5-7에서 제조된 티탄산화물 페이스트를 이용하여 닥터 블레이드 방법으로 도포한 다음 공기 중 또는 산소 중에서 450 °C 내지 500 °C의 고온에서 약 30 분간 열처리하여 티탄산화물 다공성 구형구조체로 이루어진 막을 형성하였다.
- [0080] N719 염료($\text{Ru}(4,4'\text{-다이카르복시-2,2'\text{-바이피리딘})_2(\text{NCS})_2$)를 에탄올 용매에 0.3 mM 농도로 묽혀 염료 용액을 제조한 후, 상기에서 막이 형성된 기판을 상기 염료 용액에 12 시간 동안 침지하여 티탄산화물 다공성 구형구조체로 이루어진 막의 표면에 감광성 염료를 흡착시켜 광전극을 제조하였다.
- [0081] 단계 2: 상대전극용 기판으로 FTO가 코팅된 유리기판을 준비하였고, 상기 기판에 접착테이프를 이용하여 1.5 cm^2 의 면적으로 마스킹한 후, 그 위에 H_2PtCl_6 용액을 스핀 코터로 코팅하고, 500 °C의 온도에서 30 분 동안 열처리하여 상대전극을 제조하였다.
- [0082] 단계 3: 상기 단계 1에서 제조된 광전극과 상기 단계 2에서 제조된 상대전극 사이의 공간에 LiI(0.5 M) 및 I(0.05 M)을 포함하는 아세토나이트릴(acetonitrile) 전해질을 주입하고 봉합하여 염료감응 태양전지를 제조하였다.
- [0083] <실시예 11-13> 페로브스카이트 태양전지의 제조 4-6
- [0084] 단계 1 : 투명전극으로는 FTO를 사용하였으며, FTO 전극의 크기를 제어하기 위하여 셀 제작에 이용되는 면을 제외한 나머지는 2 M HCl과 아연 분말을 이용하여 제거한 후 아세톤, 이소프로판올 등으로 세척하고, 상기 투명전

극에 스퍼터링 법으로 10 nm 두께의 얇은 티탄(Ti) 층을 증착한 후, 500 °C의 온도에서 30 분 동안 열처리하여 티탄산화물 차단층(blocking layer)을 형성시켰다.

[0085] 상기에서 제조된 티탄산화물 차단층 상부에 실시예 5-7에서 제조된 티탄산화물 페이스트를 에탄올에 무게비 1 : 3.5로 묽혀 도포한 후 5000 rpm의 회전속도로 30 초 동안 스핀코팅하고, 500 °C의 온도에서 30 분 동안 열처리하여 광전극을 제조하였다.

[0086] 단계 2: 메틸암모늄 납 요오드화물(methylammonium lead iodide, $\text{CH}_3\text{NH}_3\text{PbI}_3$) 페로브스카이트층은 두 개의 단계로 이루어진 코팅법으로 제작하였다.

[0087] 첫 번째 단계는 메틸암모늄 납 요오드화물층을 형성하기 위한 것으로, DMF(Dimethylformamide)에 녹아 있는 1.3 M의 요오드화 납(PbI_2)을 상기 단계 1에서 제조된 광전극 상부에 스핀코터를 이용하여 6500 rpm의 회전속도로 60 초 동안 스핀코팅한 후, 70 °C의 온도에서 30 분 동안 건조시켰다.

[0088] 두 번째 단계는 요오드화 납이 코팅된 상기 광전극을 이소프로판올에 녹아있는 0.05 M의 메틸암모늄(methylammonium iodide, MAI)을 20 초 동안 침지시킨 후, 70 °C의 온도에서 15 분 동안 건조시켜 메틸암모늄 납 요오드화물층을 형성하였다.

[0089] 단계 3: 메틸암모늄 납 요오드화물층이 형성된 상기 광전극에 유기 홀-전도성 고분자(hole-conducting polymer)인 2,29,7,79-테라키스(N,N-디-p-메톡시페닐아민)-9,9-스피로비플루오렌 (2,29,7,79-terakis(N,N-di-p-methoxyphenylamine)-9,9-spirobifluorene; Spiro-OMETAD)을 72.3 mg, 4-테르-부틸피리딘(4-tert-butylpyridine)을 28.8 μl 및 아세토나이트릴(acetonitrile)에 녹아있는 3 M의 리튬 비스(트리플루오로메탄설포닐)이미드(Lithium bis(trifluoromethanesulphonyl)imide)를 17.5 μl 취한 후, 1 ml의 클로로 벤젠에 녹인 용액을 스핀코터를 이용하여 4000 rpm의 회전속도로 30 초 동안 스핀코팅을 수행하여 정공 수송체(hole transport material layer)를 형성하였다.

[0090] 단계 4: 상기 단계 3에서 형성된 정공 수송체 상부에 열 진공 증착기(thermal evaporator)를 이용하여 1×10^{-6} torr 하에서 금(gold) 전극을 60 nm 두께로 증착하여 페로브스카이트 태양전지를 제조하였다.

[0091] <실시예 14-16> Sb_2S_3 태양전지의 제조 7-9

[0092] 단계 1: 투명전극으로는 FTO를 사용하였으며 아세톤, 에탄올, 증류수 등으로 깨끗하게 세척한 후, 상기 투명전극에 티타늄(Ti) 0.15 M 용액을 스핀코팅법을 사용하여 500 rpm의 회전속도로 15 초, 3000 rpm의 회전속도로 45 초 동안 코팅하여 티탄산화물 차단층(blocking layer)을 형성하였다.

[0093] 이후, 상기 실시예 5-7에서 제조된 티탄산화물 페이스트를 이용하여 닥터 블레이드 방법으로 도포한 다음 공기 중 또는 산소 중에서 500 °C의 고온에서 약 30 분간 열처리하여 티탄산화물 다공성 구형구조체로 이루어진 막을 형성하였다.

[0094] Sb_2S_3 를 광감응 물질로서 사용하기 위해 화학적 용액성장법(CBD, chemical bath deposition)을 이용하였다. CBD 법으로 Sb_2S_3 를 증착하기 위해 SbCl_3 를 아세톤(acetone)에 1 M 농도로 묽히고, $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ 를 증류수에 1 M 농도로 묽혀 각각 3 ml, 25 ml를 취하여 증류수 72 ml에 혼합하여 시드(seed) 용액을 만든다. 상기 시드 용액에 상기에서 티탄산화물 다공성 구형구조체로 이루어진 막이 형성된 기판을 1 시간 내지 6 시간 동안 침지하여 Sb_2S_3 를 코팅시킨다. 이후 300 °C 내지 330 °C의 온도에서 30 분 내지 3 시간 동안 열처리를 하여 Sb_2S_3 를 결정화시켜 광전극을 제조하였다.

[0095] 단계 2: Sb_2S_3 층이 형성된 상기 광전극에 Spiro-OMETAD(2,29,7,79-terakis(N,N-di-p-methoxyphenylamine)-9,9-spirobifluorene)를 72.3 mg, 4-tert-butylpyridine를 28.8 μl , 아세토나이트릴에 녹아있는 3 M의 Lithium

bis(trifluoromethanesulphonyl)imide를 17.5 μ l 취한 후, 1 ml의 클로로 벤젠에 녹인 용액을 스핀코터를 이용하여 4000 rpm의 회전속도로 30 초 동안 스핀코팅을 수행하여 정공 수송체 층(hole transport material layer)을 형성하였다.

- [0096] 단계 4 : 정공 수송체 상부에 열 진공 증착기(thermal evaporator)를 이용하여 1×10^{-6} torr 하에서 금(gold) 전극을 60 nm의 두께로 증착하여 Sb_2S_3 태양전지를 제조하였다.
- [0097] <비교예 1>
- [0098] 상기 실시예 1의 단계 1에서 증류수를 1.45 ml 사용한 것을 제외하고 상기 실시예 1과 동일하게 수행하여 티탄 산화물을 제조하였다.
- [0099] 이때, 상기 티탄산화물은 단순히 나노입자 또는 몇몇 나노입자가 뭉쳐진 구조를 이루는 것을 확인할 수 있었다.
- [0100] <비교예 2>
- [0101] 상기 실시예 1의 단계 1에서 증류수를 0.13 ml 사용한 것을 제외하고 상기 실시예 1과 동일하게 수행하여 티탄 산화물 구형구조체를 제조하였다.
- [0102] 이때, 상기 티탄산화물은 균일한 구형구조체를 나타내며 직경은 250 nm이다.
- [0103] <비교예 3>
- [0104] 상기 실시예 1의 단계 1에서 용매로, 2-프로판올을 사용하지 않고 에탄올을 사용한 것을 제외하고 상기 실시예 1과 동일하게 수행하여 티탄산화물 구형구조체를 제조하였다.
- [0105] 이때, 상기 티탄산화물은 균일한 구형구조체를 나타내며 직경은 약 230 nm 이상으로 커지며, 크기와 모양이 불균일하다.
- [0106] <비교예 4>
- [0107] 상기 실시예 1의 단계 1에서 아민계 염기촉매로 부틸 아민을 사용하지 않고 메틸 아민을 사용한 것을 제외하고 상기 실시예 1과 동일하게 수행하여 티탄산화물 구형구조체를 제조하였다.
- [0108] 이때, 상기 티탄산화물은 서로 뭉쳐있는 것을 확인할 수 있었다.
- [0109] <비교예 5>
- [0110] 상기 비교예 2에서 제조된 티탄산화물 구형구조체 1 g, 터핀올 4 g, 에틸셀룰로스(46cp) 4 g 을 페이스트 믹서(paste mixer)를 이용하여 90 분간 섞어 준 뒤, 3-롤밀(3-roll mill)을 이용하여 입자가 고르게 분산된 티탄산화물 페이스트를 제조하였다.
- [0111] <비교예 6>
- [0112] DyeSol 사의 20 nm 크기의 티탄산화물 나노입자로 구성된 페이스트(18NR-T Transparent Titania paste)를 준비하였다.
- [0113] <비교예 7-8>
- [0114] 상기 실시예 8-10의 단계 1에서 상기 비교예 5-6에서 제조된 티탄산화물 페이스트를 이용하여 광전극을 제조한

것을 제외하고 상기 실시예 8-10과 동일하게 수행하여 염료감응 태양전지를 제조하였다.

[0115] <비교예 9-10>

[0116] 상기 실시예 11-13의 단계 1에서 티탄산화물 차단층 상부에 비교예 5-6에서 제조된 티탄산화물 페이스트를 도포하여 광전극을 제조한 것을 제외하고 상기 실시예 11-13과 동일하게 수행하여 페로브스카이트 태양전지를 제조하였다.

[0117] <비교예 11-12>

[0118] 상기 실시예 14-16의 단계 1에서 상기 비교예 5-6에서 제조된 티탄산화물 페이스트를 이용하여 광전극을 제조한 것을 제외하고 상기 실시예 14-16과 동일하게 수행하여 Sb_2S_3 태양전지를 제조하였다.

[0119] <실험예 1> 투과 전자 현미경(TEM) 및 주사 전자 현미경(SEM) 분석

[0120] 본 발명에 따른 티탄산화물 구형구조체의 형상을 확인하기 위하여, 상기 실시예 1 내지 4에서 제조된 티탄산화물 구형구조체 및 상기 비교예 1 내지 비교예 4에서 제조된 티탄산화물 구형구조체를 투과 전자 현미경(TEM) 및 주사 전자 현미경(SEM)으로 분석하였으며, 그 결과를 도 1 및 도 2에 나타내었다.

[0121] 도 1에 나타난 바와 같이, 본 발명에 따른 제조방법으로 제조된 티탄산화물 구형구조체의 크기는 70 nm 내지 200 nm인 것을 확인할 수 있었다. 또한, 티탄산화물 입자가 뭉친 구형 구조체의 형상인 것을 확인할 수 있었다.

[0122] 구체적으로, 2-프로판올을 용매로 사용하여 합성된 실시예들은 70 nm 내지 200 nm 직경을 가지는 구형구조체로 형성된 것을 확인할 수 있었다. 또한, 아민계 염기촉매로 부틸 아민을 사용함으로써 구형구조체들이 뭉치지 않고 잘 분산되어 있으며, 균일한 크기로 구형의 형상을 이룬 것을 확인할 수 있었다.

[0123] 한편, n-부탄올을 용매로 사용하여 합성된 실시예 4는 작은 구형구조체를 형성하여 기존의 방법보다 작은 크기로 제어가 가능하지만, 직경이 약 130 nm로서 본 발명의 주요한 용매인 2-프로판올의 100 nm에는 미치지 못하는 것을 확인할 수 있었다.

[0124] 반면, 증류수의 양을 과량 사용한 비교예 1의 경우에는 나노입자 및 몇몇의 나노입자가 뭉쳐있는 형상인 것을 확인할 수 있었으며, 증류수의 양을 적게 사용한 비교예 2의 경우에는 약 250 nm 이상의 구형구조체가 형성된 것을 확인할 수 있었다. 이를 통해 증류수의 양을 조절하여 구형구조체의 크기를 조절할 수 있음을 확인할 수 있었다.

[0125] 또한, 도 2에 나타난 바와 같이, 본 발명에 따른 실시예 1에서 제조된 티탄산화물 구형구조체는 약 100 nm 크기의 티탄산화물 구형구조체가 균일한 크기로 분포되어 있는 것을 확인할 수 있었다.

[0126] 반면, 용매로 에탄올을 혼합하여 제조된 비교예 3의 티탄산화물 구형구조체는 약 230 nm 이상의 크기를 가지는 티탄산화물 구형구조체가 형성된 것을 확인할 수 있었다. 또한, 아민계 염기촉매로 메틸아민을 사용한 비교예 4의 티탄산화물 구형구조체는 서로 뭉치는 경향이 있어 잘 분산되지 않는 것을 확인할 수 있었다.

[0127] <실험예 2> X-선 회절 분석

[0128] 본 발명에 따른 티탄산화물 구형구조체의 결정성을 확인하기 위하여, 상기 실시예 1 내지 3에서 제조된 티탄산화물 구형구조체를 X-선 회절 분석기(리가쿠사, DMAX 2500 diffract meter CuK α radiation)로 분석하였으며, 그 결과를 도 3에 나타내었다.

[0129] 도 3에 나타낸 바와 같이, 본 발명에 따른 제조방법으로 제조된 티탄산화물 구형구조체는 JCPDS 21-1272 anatase 형인 티탄산화물 피크와 정확히 일치하는 티탄산화물 입자인 것을 확인할 수 있었다.

[0130] <실험예 3> 태양전지의 광전변환효율 분석

[0131] 본 발명에 따른 티탄산화물 구형구조체를 포함하는 태양전지의 광전변환효율을 확인하기 위하여, 상기 실시예 8 내지 16 및 비교예 7 내지 12에서 제조된 태양전지를 1.5 AM 100 mW/cm²의 솔라 시뮬레이터(Xe 램프(300 W, Oriel), AM 1.5 filter 및 Keithley SMU2400으로 구성)를 이용하여 개방전압, 광전류밀도, 충전계수 및 광전변환효율을 측정하였으며, 그 결과를 도 4, 도 5 및 표 1 내지 3에 나타내었다.

표 1

[0132]

	개방전압 (mV)	광전류밀도 (mA/cm ²)	충전계수 (%)	광전변환효율 (%)
실시예 8	778.2	12.4	74.1	7.13
실시예 9	784.1	12.0	74.7	7.00
실시예 10	787.1	11.8	74.4	6.90
비교예 7	789.9	11.5	74.1	6.73
비교예 8	795.2	10.8	74.2	6.40

표 2

[0133]

	개방전압 (mV)	광전류밀도 (mA/cm ²)	충전계수 (%)	광전변환효율 (%)
실시예 11	993.08	21.56	70.80	15.16
실시예 12	986.37	20.61	67.27	13.67
실시예 13	982.20	20.47	68.37	13.75
비교예 9	965.43	18.88	70.79	12.90
비교예 10	930.78	20.02	69.90	13.02

표 3

[0134]

	개방전압 (mV)	광전류밀도 (mA/cm ²)	충전계수 (%)	광전변환효율 (%)
실시예 14	617.7	11.6	58.2	4.17
실시예 15	609.4	11.1	57.7	3.90
실시예 16	587.9	10.2	57.5	3.45
비교예 11	587.6	9.9	55.4	2.93
비교예 12	624.3	9.6	54.3	3.25

[0135] 도 4, 도 5 및 표 1 내지 3에 나타낸 바와 같이, 본 발명에 따른 70 nm 내지 200 nm 직경의 티탄산화물 구형구조체를 포함하는 태양전지는 모두 광전변환효율이 우수한 것을 확인할 수 있었다.

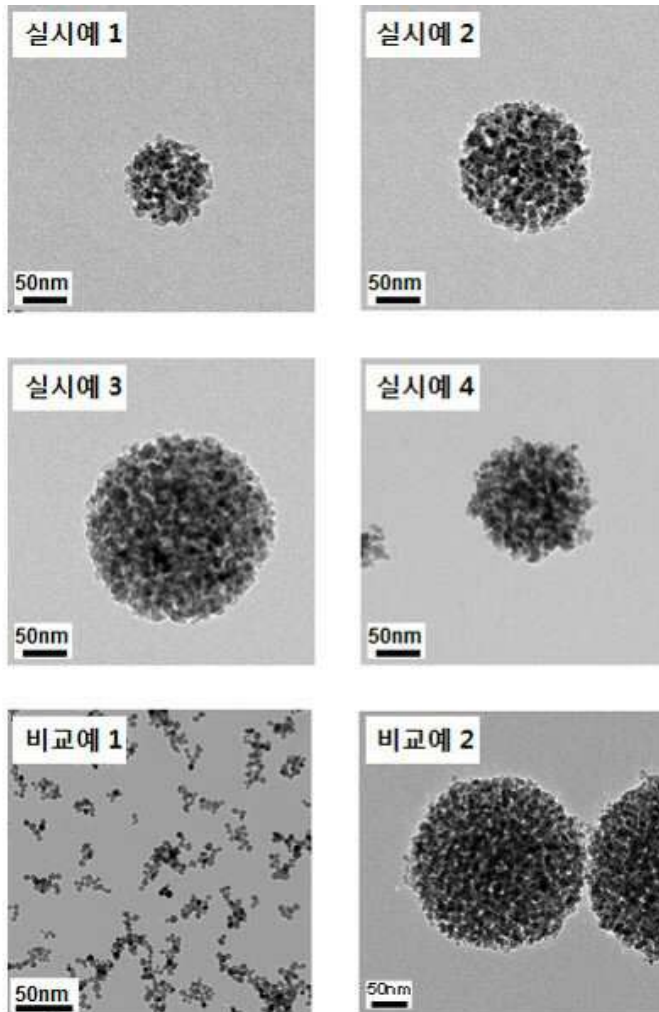
[0136] 특히, 염료감응형 태양전지, 페로브스카이트 태양전지, Sb₂S₃ 태양전지 모두에서 100 nm 크기의 티탄산화물 구형구조체를 사용한 태양전지의 광전변환효율이 크게 향상되었다.

[0137] 염료감응 태양전지에서 본 발명에 따른 티탄산화물 구형구조체를 적용시킬 경우 광전극 내의 기공이 클수록 전해질의 확산이 효율적으로 일어날 수 있는 구조를 가지게 되고, 광산란 효과 또한 가지게 되므로 광전변환효율을 향상시키는 결과를 나타내었다.

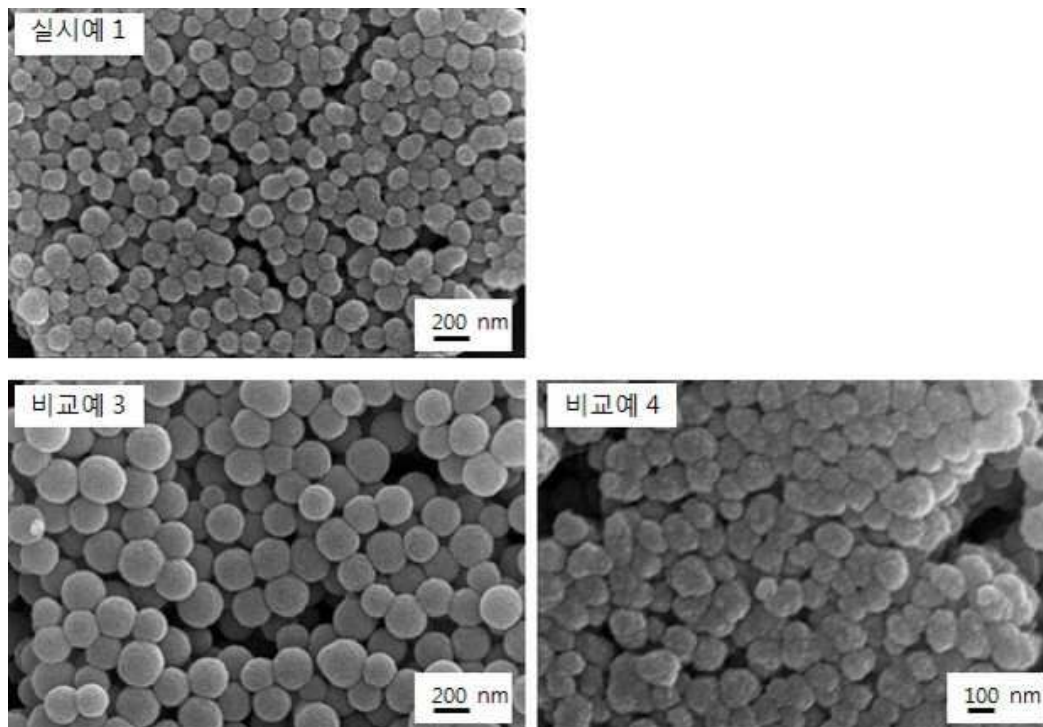
[0138] 또한, 페로브스카이트 태양전지를 비롯한 유무기 하이브리드 태양전지의 티탄산화물 광전극은 첫째, 기공크기가 넓어 $\text{CH}_3\text{NH}_3\text{PbI}_3$ 와 같은 광흡수 물질이 티탄산화물의 기공 내부를 균일하게 채울 수 있어야 하며, 둘째, 다공성 광전극을 형성하고 있는 티탄산화물 나노입자 간의 연결성이 우수하여 광전류의 이동이 원활해야하는데, 이와 같은 측면에서 70 nm 내지 200 nm 크기의 티탄산화물 다공성 구형구조체는 상기 요건을 고르게 갖추고 있어, 고효율의 광전변환효율을 얻을 수 있는 것을 알 수 있다.

도면

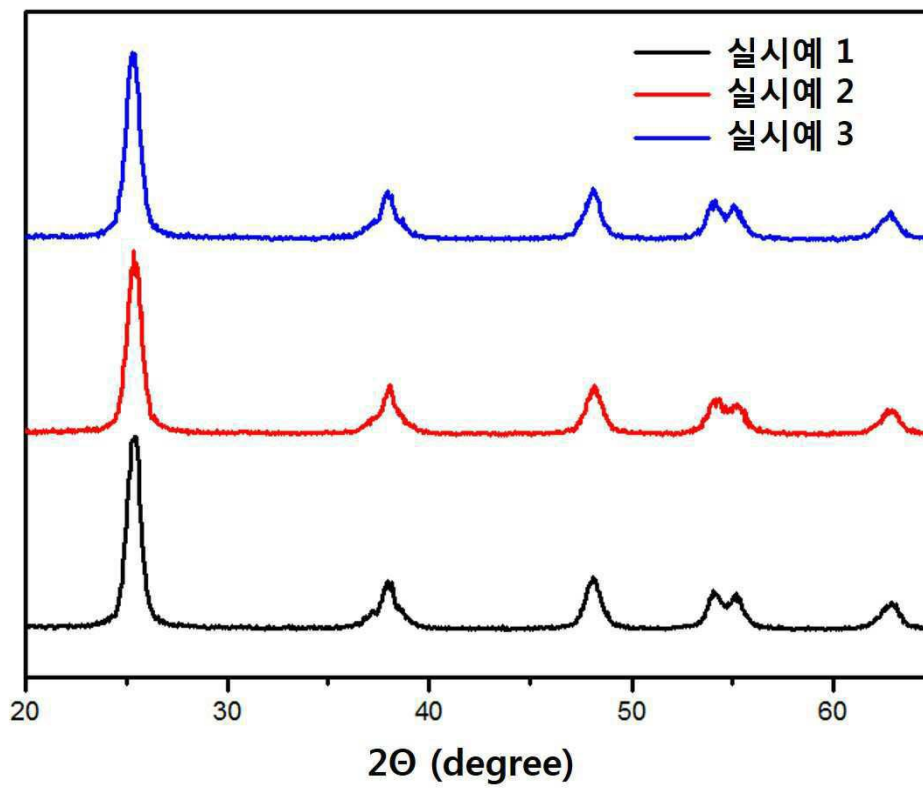
도면1



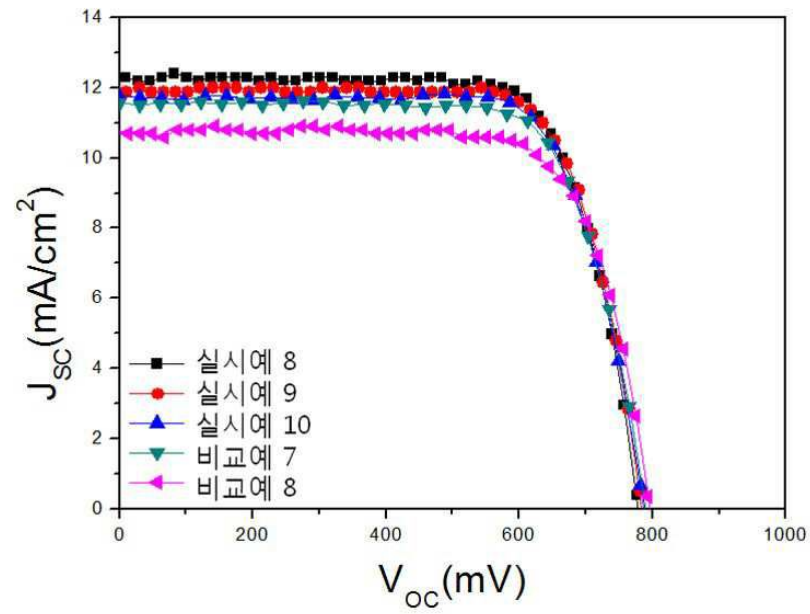
도면2



도면3



도면4



도면5

