(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2025-0090198
(43) 공개일자 2025년06월19일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
H10K 30/88 (2023.01) *H10F 10/17* (2025.01)
H10F 77/12 (2025.01) *H10K 30/15* (2023.01)
H10K 30/40 (2023.01) *H10K 30/50* (2023.01)
H10K 30/81 (2023.01) *H10K 30/85* (2023.01)
H10K 30/86 (2023.01) *H10K 85/50* (2023.01)
(52) CPC특허분류
H10K 30/88 (2023.02)
H10F 10/17 (2025.01)
(21) 출원번호 10-2024-0178878
(22) 출원일자 2024년12월04일
심사청구일자 2024년12월04일
(30) 우선권주장
1020230180053 2023년12월12일 대한민국(KR)

(71) 출원인
경희대학교 산학협력단
경기도 용인시 기흥구 덕영대로 1732 (서천동, 경희대학교 국제캠퍼스내)
(72) 발명자
윤정호
경기도 용인시 기흥구 서그내로 63, 201호 (서천동)
이수민
경기도 용인시 기흥구 서그내로 23-11, 202호 (서천동)
(74) 대리인
특허법인 천지

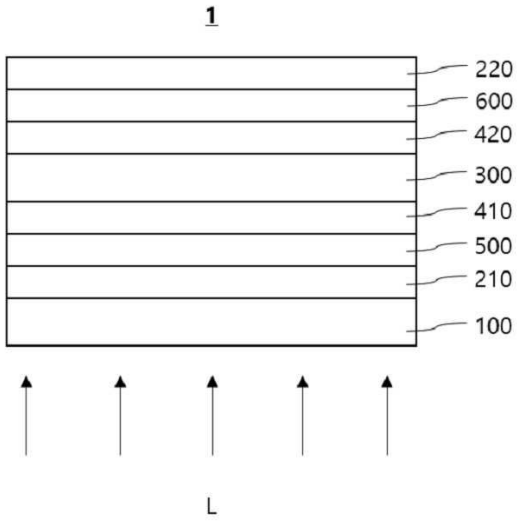
전체 청구항 수 : 총 7 항

(54) 발명의 명칭 **우주용 페로브스카이트 태양전지**

(57) 요 약

본 발명은 내방사성이 우수하여 우주 조건에서 효과적으로 구동이 가능한 우주용 페로브스카이트 태양전지에 관한 것이다.

대 표 도 - 도1



(52) CPC특허분류
H10F 77/12 (2025.01)
H10K 30/15 (2023.02)
H10K 30/40 (2023.02)
H10K 30/50 (2023.02)
H10K 30/81 (2023.02)
H10K 30/85 (2023.02)
H10K 30/86 (2023.02)
H10K 85/50 (2023.02)

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호	1711198527
과제번호	00257494
부처명	과학기술정보통신부
과제관리(전문)기관명	한국연구재단
연구사업명	해외우수연구기관협력허브구축
연구과제명	차세대 내방사성 강화 및 경량 우주태양전지 연구개발
과제수행기관명	경희대학교산학협력단
연구기간	2023.07.01 ~ 2023.12.31

명 세 서

청구범위

청구항 1

제1 전극;

제2 전극;

상기 제1 전극과 상기 제2 전극 사이에 구비되는 페로브스카이트 광활성층;

상기 제1 전극과 상기 광활성층 사이에 구비되는 제1 보호층; 및

상기 제2 전극과 상기 광활성층 사이에 구비되는 제2 보호층;을 포함하며,

상기 제1 보호층 및 상기 제2 보호층은 내방사성 물질을 포함하는 보호층 형성용 조성물을 포함하는 우주용 페로브스카이트 태양전지.

청구항 2

제1항에 있어서,

상기 광활성층은 하기 화학식 1로 표시되는 화합물을 포함하는 것인 우주용 페로브스카이트 태양전지:

[화학식 1]

ABX_3

상기 화학식 1에서 A는 유기 암모늄 이온 및 알칼리 금속 중 적어도 하나를 포함하고,

B는 Pb, Sn, Bi 및 Sb 중 적어도 하나의 금속을 포함하고,

X는 할로겐 음이온이다.

청구항 3

제1항에 있어서,

상기 내방사성 물질은 요오드화 암모늄계 화합물을 포함하는 것인 우주용 페로브스카이트 태양전지.

청구항 4

제1항에 있어서,

상기 내방사성 물질은 란탄족 금속 이온을 포함하는 것인 우주용 페로브스카이트 태양전지.

청구항 5

제1항에 있어서,

상기 제1 전극의 일면 상에 구비되는 기판;

상기 제1 전극과 상기 제1 보호층 사이에 구비되는 전자수송층; 및

상기 제2 전극과 상기 제2 보호층 사이에 구비되는 정공수송층;을 더 포함하는 것인 우주용 페로브스카이트 태

양전지.

청구항 6

제1항에 있어서,

상기 제1 전극의 일면 상에 구비되는 기판;

상기 제1 전극과 상기 제1 보호층 사이에 구비되는 정공수송층; 및

상기 제2 전극과 상기 제2 보호층 사이에 구비되는 전자수송층;을 더 포함하는 것인 우주용 페로브스카이트 태양전지.

청구항 7

제5항 또는 제6항에 있어서,

상기 기판, 상기 제1 전극, 상기 제2 전극, 상기 전자수송층 및 상기 정공수송층 중 적어도 하나는 내방사성 물질을 포함하는 것인 우주용 페로브스카이트 태양전지.

발명의 설명

기 술 분 야

[0001] 본 발명은 우주용 페로브스카이트 태양전지에 관한 것이다.

배 경 기 술

[0003] 태양전지(Solar Cell)는 태양광을 직접 전기로 변환시키는 태양광발전의 핵심소자로서, 현재 가정은 물론 항공, 기상, 통신분야에 이르기까지 다양한 분야에서 사용되고 있으며, 태양광 자동차, 태양광 에어컨 등도 주목받고 있다.

[0004] 이러한 태양전지는 주로 실리콘 반도체를 이용하고 있으나, 고순도 실리콘 반도체의 원자재 가격 및 이를 이용한 태양전지 셀 제조공정의 복잡성으로 인해 발전단가가 높다는 문제점이 있다. 즉, 종래의 화석연료에 의한 발전단가보다 3~10배 높기 때문에 각국 정부의 보조에 의해서 시장이 성장하고 있다는 한계를 안고 있다. 이러한 이유로 실리콘을 사용하지 않는 태양전지의 연구개발이 활성화되었고, 1990년대부터는 유기반도체 소재인 염료를 이용한 염료감응형 태양전지(Dye-Sensitized Solar Cell; DSSC)와 전도성 고분자를 이용한 고분자태양전지(Polymer Solar Cell)가 본격적으로 연구되기 시작하였다. 이러한 DSSC와 고분자태양전지와 같은 유기반도체 기반 태양전지가 학계와 산업계의 많은 노력에도 불구하고 사업화 단계에까지 이르지 못하였으나, 최근 DSSC와 고분자태양전지의 장점을 융합한 페로브스카이트 태양전지(perovskite solar cell, PSC)의 출현에 의해 차세대 태양전지에 대한 기대감이 한층 높아지고 있는 상황이다.

[0005] 페로브스카이트 태양전지는 종래 DSSC와 고분자 태양전지의 융합형 태양전지로서, DSSC와 같이 액체 전해질을 사용하지 않아서 신뢰성이 개선되었으며, 페로브스카이트의 광학적 우수성으로 인해 고효율이 가능한 태양전지이며 최근 공정개선, 소재개선 및 구조개선을 통하여 지속적으로 효율이 향상되고 있다. 한편, 최근에는 우주용 전원공급 장치에 사용하기 위한 페로브스카이트 태양전지의 개발이 진행되고 있다.

[0006] 이에, 우주 조건에서도 효과적으로 구동이 가능한 페로브스카이트 태양전지에 대한 개발이 필요한 실정이다.

발명의 내용

해결하려는 과제

[0008] 본 발명은 내방사성이 우수하여 우주 조건에서 효과적으로 구동이 가능한 우주용 페로브스카이트 태양전지를 제

공하는 것이다.

[0009] 다만, 본 발명이 해결하고자 하는 과제는 상기 언급한 과제로 제한되지 않으며, 언급되지 않은 또 다른 과제들은 하기의 기재로부터 당업자에게 명확하게 이해될 수 있을 것이다.

과제의 해결 수단

[0011] 본 발명의 일 실시상태는, 제1 전극; 제2 전극; 상기 제1 전극과 상기 제2 전극 사이에 구비되는 페로브스카이트 광활성층; 상기 제1 전극과 상기 광활성층 사이에 구비되는 제1 보호층; 및 상기 제2 전극과 상기 광활성층 사이에 구비되는 제2 보호층;을 포함하며, 상기 제1 보호층 및 상기 제2 보호층은 내방사성 물질을 포함하는 보호층 형성용 조성물을 포함하는 우주용 페로브스카이트 태양전지를 제공한다.

[0012] 본 발명의 일 실시상태에 따르면, 상기 광활성층은 하기 화학식 1로 표시되는 화합물을 포함할 수 있다:

[0013] [화학식 1]

[0014] ABX_3

[0015] 상기 화학식 1에서 A는 유기 암모늄 이온 및 알칼리 금속 중 적어도 하나를 포함하고, B는 Pb, Sn, Bi 및 Sb 중 적어도 하나의 금속을 포함하고, X는 할로겐 음이온이다.

[0016] 본 발명의 일 실시상태에 따르면, 상기 내방사성 물질은 요오드화 암모늄계 화합물을 포함할 수 있다.

[0017] 본 발명의 일 실시상태에 따르면, 상기 내방사성 물질은 란탄족 금속 이온을 포함할 수 있다.

[0018] 본 발명의 일 실시상태에 따르면, 상기 우주용 페로브스카이트 태양전지는, 상기 제1 전극의 일면 상에 구비되는 기판; 상기 제1 전극과 상기 제1 보호층 사이에 구비되는 전자수송층; 및 상기 제2 전극과 상기 제2 보호층 사이에 구비되는 정공수송층;을 더 포함할 수 있다.

[0019] 본 발명의 일 실시상태에 따르면, 상기 우주용 페로브스카이트 태양전지는, 상기 제1 전극의 일면 상에 구비되는 기판; 상기 제1 전극과 상기 제1 보호층 사이에 구비되는 정공수송층; 및 상기 제2 전극과 상기 제2 보호층 사이에 구비되는 전자수송층;을 더 포함할 수 있다.

[0020] 본 발명의 일 실시상태에 따르면, 상기 기판, 상기 제1 전극, 상기 제2 전극, 상기 전자수송층 및 상기 정공수송층 중 적어도 하나는 내방사성 물질을 포함할 수 있다.

발명의 효과

[0022] 본 발명의 일 실시상태에 따른 우주용 페로브스카이트 태양전지는 내방사성이 우수하여 우주 조건에서 효과적으로 구동이 가능한 이점이 있다.

[0023] 본 발명의 효과는 상술한 효과로 한정되는 것은 아니며, 언급되지 아니한 효과들은 본원 명세서 및 첨부된 도면으로부터 당업자에게 명확히 이해될 수 있을 것이다.

도면의 간단한 설명

[0025] 도 1은 본 발명의 일 실시상태에 따른 우주용 페로브스카이트 태양전지의 단면도이다.

도 2는 본 발명의 다른 실시상태에 따른 우주용 페로브스카이트 태양전지의 단면도이다.

도 3은 본 발명의 실시예에서 제조된 우주용 페로브스카이트 태양전지에 대한 양성자선 조사 전과 후의 태양전지 성능평가 결과를 나타낸 도면이다.

도 4는 비교예에서 제조된 페로브스카이트 태양전지에 대한 양성자선 조사 전과 후의 태양전지 성능평가 결과를 나타낸 도면이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0026] 본원 명세서 전체에서, 어떤 부분이 어떤 구성요소를 "포함"한다고 할 때, 이는 특별히 반대되는 기재가 없는 한 다른 구성요소를 제외하는 것이 아니라 다른 구성요소를 더 포함할 수 있음을 의미한다.

[0027] 본원 명세서 전체에서, 어떤 부재가 다른 부재 "상에" 위치하고 있다고 할 때, 이는 어떤 부재가 다른 부재에 접해 있는 경우뿐 아니라 두 부재 사이에 또 다른 부재가 존재하는 경우도 포함한다.

[0028] 본원 명세서 전체에서, 단위 "중량부"는 각 성분간의 중량의 비율을 의미할 수 있다.

[0029] 본원 명세서 전체에서, “제1” 및 “제2”와 같이 서수를 포함하는 용어는 하나의 구성요소를 다른 구성요소로부터 구별하는 목적으로 사용되며, 상기 서수에 의해 한정되지 않는다. 예를 들어, 발명의 권리 범위 내에서 제1 구성요소는 제2 구성요소로도 명명될 수 있고, 유사하게 제2 구성요소는 제1 구성요소로 명명될 수 있다.

[0031] 이하, 본 명세서에 대하여 더욱 상세하게 설명한다.

[0032] 도 1은 본 발명의 일 실시상태에 따른 우주용 페로브스카이트 태양전지의 단면도이고, 도 2는 본 발명의 다른 실시상태에 따른 우주용 페로브스카이트 태양전지의 단면도이다. 구체적으로, 도 1은 정구조(regular architecture, n-i-p)의 셀 구조를 가지는 우주용 페로브스카이트 태양전지의 단면도를 나타낸 것이다. 도 2는 역구조(inverted architecture, p-i-n)의 셀 구조를 가지는 우주용 페로브스카이트 태양전지의 단면도를 나타낸 것이다.

[0033] 본 발명의 일 실시상태는, 제1 전극; 제2 전극; 상기 제1 전극과 상기 제2 전극 사이에 구비되는 페로브스카이트 광활성층; 상기 제1 전극과 상기 광활성층 사이에 구비되는 제1 보호층; 및 상기 제2 전극과 상기 광활성층 사이에 구비되는 제2 보호층;을 포함하며, 상기 제1 보호층 및 상기 제2 보호층은 내방사성 물질을 포함하는 보호층 형성용 조성물을 포함하는 우주용 페로브스카이트 태양전지를 제공한다.

[0034] 본 발명의 일 실시상태는 내방사성이 우수하여 우주 조건에서 효과적으로 구동이 가능한 우주용 페로브스카이트 태양전지를 제공하는 것이다. 구체적으로, 상기 우주용 페로브스카이트 태양전지는 상기 페로브스카이트 광활성층의 일면 및 타면 상에 각각 제1 보호층 및 제2 보호층이 구비됨으로써, 내방사성이 효과적으로 향상될 수 있다. 상기 제1 보호층 및 제2 보호층이 구비됨으로써, 빛이 조사되는 경우에 광활성층에 포함된 페로브스카이트의 분해를 억제하여 안정성을 향상시킬 수 있다. 또한, 상기 제1 보호층 및 제2 보호층을 상기 광활성층의 일면 및 타면에 각각 구비함으로써, 페로브스카이트의 전하분해능력(charge extraction capability)이 향상될 수 있으며, 이에 따라 상기 우주용 페로브스카이트 태양전지의 성능이 효과적으로 개선될 수 있다.

[0035] 또한, 상기 우주용 페로브스카이트 태양전지는 경량화된 물성을 구현할 수 있다. 즉, 상기 우주용 페로브스카이트 태양전지는 단위질량당 전력생산량이 우수하여, 소형 위성의 발사비용 및 운전비용을 저감시킬 수 있는 이점이 있다. 또한, 상기 우주용 페로브스카이트 태양전지는 비교적 저온 조건에서 제작이 가능하여, 제작 비용을 저감할 수 있고 유연 소자로도 활용이 가능한 이점이 있다.

[0036] 도 1 및 도 2를 참고하면, 상기 우주용 페로브스카이트 태양전지(1)는 제1 전극(210), 제2 전극(220) 및 페로브스카이트 광활성층(300)을 포함할 수 있다.

[0037] 본 발명의 일 실시상태에 따르면, 상기 제1 전극은 제1 전극을 형성하기 위한 물질로, 인듐 틴 옥사이드(Indium tin oxide, ITO), 플루오린 틴 옥사이드(Fluorine-doped tin oxide, FTO), 안티모니 틴 옥사이드(Antimony tin oxide, ATO), 갈륨 틴 옥사이드(Gallium tin oxide, GTO), 징크 틴 옥사이드(Zinc tin oxide, ZTO), 갈륨 도핑된 ZTO(ZTO: Ga), 인듐 징크 옥사이드(Indium zinc oxide, IZO), 알루미늄 징크 옥사이드(Aluminum zinc oxide, AZO), 보론 도핑된 징크 옥사이드(Boron-doped zinc oxide, BZO), 니오븀 티타늄 옥사이드(Niobium titanium oxide, NTO), 인듐 갈륨 징크 옥사이드(Indium gallium zinc oxide, IGZO) 및 인듐 징크 틴 옥사이드(Indium zinc tin oxide, IZTO) 중 적어도 하나를 포함할 수 있다.

[0038] 본 발명의 일 실시상태에 따르면, 상기 제2 전극은 불투명 전극 또는 투명 전극을 포함할 수 있다. 상기 불투명 전극은 제2 전극을 형성하기 위한 물질로, 은(Ag), 알루미늄(Al), 백금(Pt), 텅스텐(W), 구리(Cu), 몰리브덴(Mo), 금(Au), 니켈(Ni), 팔라듐(Pd), 인듐(In), 루테늄(Ru), 납(Pd), 로듐(Rh), 이리듐(Ir), 오스뮴(Os) 및 탄소(C) 중 적어도 하나를 포함할 수 있다. 또한, 상기 투명 전극은 제2 전극을 형성하기 위한 물질로, 인듐 틴 옥사이드(ITO), 플루오린 틴 옥사이드(FTO), 안티모니 틴 옥사이드(ATO), 갈륨 틴 옥사이드(GTO), 징크 틴 옥사이드(ZTO), 갈륨 도핑된 ZTO(ZTO: Ga), 인듐 징크 옥사이드(IZO), 알루미늄 징크 옥사이드(AZO), 보론 도핑된 징크 옥사이드(BZO), 니오븀 티타늄 옥사이드(NTO), 인듐 갈륨 징크 옥사이드(IGZO) 및 인듐 징크 틴 옥사이드

(IZTO) 중 적어도 하나를 포함할 수 있다.

[0039] 본 발명의 일 실시상태에 따르면, 상기 페로브스카이트 광활성층은 하기 화학식 1로 표시되는 화합물을 포함할 수 있다. 상기 화학식 1로 표시되는 화합물을 포함하는 상기 페로브스카이트 광활성층은, 페로브스카이트의 고유물성으로 인하여 방사선 에너지 노출 시에 광활성층의 결함이 회복될 수 있어, 우주용 태양전지에 적용이 용이할 수 있다.

[0040] [화학식 1]

[0041] ABX_3

[0042] 상기 화학식 1에서 A는 유기 암모늄 이온 및 알칼리 금속 중 적어도 하나를 포함하고, B는 Pb, Sn, Bi 및 Sb 중 적어도 하나의 금속을 포함하고, X는 할로겐 음이온이다.

[0043] 구체적으로, 상기 화학식 1에서 A는 유기 암모늄 이온을 포함할 수 있으며, 상기 유기 암모늄 이온은 메틸 암모늄 이온(Methylammonium ion, MA^+), 포름아미디늄 이온(Formamidiniumion, FA^+), 에틸 암모늄 이온(Ethylammonium ion, EA^+), 및 페닐 암모늄 이온(Phenylammonium ion, PA^+) 중 적어도 하나를 포함할 수 있다. 상기 알칼리 금속은 Cs, Rb, Na, K 및 Li 중 적어도 하나를 포함할 수 있다.

[0044] 본 발명의 일 실시상태에 따르면, 상기 광활성층은 페로브스카이트 전구체 용액을 이용하여 형성될 수 있다. 상기 페로브스카이트 전구체 용액은, 상기 화학식 1로 표시되는 화합물을 형성하기 위한 전구체 물질과 용매를 포함할 수 있다. 상기 전구체 물질은, 상기 화학식 1로 표시되는 화합물을 제조하기 위하여, 당업계에서 사용되는 것을 제한 없이 이용할 수 있다. 예를 들어, 상기 전구체 물질은 요오드화세슘(CsI), 요오드화포름암모늄(FAI) 및 요오드화납(PbI_2)을 포함할 수 있다.

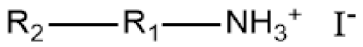
[0045] 또한, 상기 용매는 당업계에서 사용되는 것을 사용할 수 있으며, 예를 들어 상기 용매는 디메틸포름아마이드(Dimethylformamide, DMF), 디메틸 설폭사이드(Dimethyl sulfoxide, DMSO), 감마부티로락톤(γ-butyrolactone, GBL), 디메틸아세트아미드(N,N-dimethylacetamide, DMA), 메틸피롤리돈(N-Methyl-2-Pyrrolidone, NMP), 1,3-디메틸-2-이미다졸리딘온(1,3-dimethyl-2-imidazolidinone, DMI), 디메틸아세트아미드(Dimethylacetamide, DMA), 2-메르캅토 에탄올(2-Mercaptoethanol, 2ME), 헥사메틸포스포르아미드(Hexamethylphosphoramide, HMPA), 아세토나이트릴(Acetonitrile) 및 메틸아민(Methylamine) 중 적어도 하나를 포함할 수 있다. 다만, 상기 용매의 종류를 전술한 것으로 제한하는 것은 아니다.

[0046] 도 1 및 도 2를 참고하면, 상기 우주용 페로브스카이트 태양전지(1)는 제1 보호층(410)과 제2 보호층(420)을 포함할 수 있다. 상기 제1 보호층(410)은 상기 제1 전극(210)과 상기 페로브스카이트 광활성층(300) 사이에 구비될 수 있고, 상기 제2 보호층(420)은 상기 제2 전극(220)과 상기 페로브스카이트 광활성층(300) 사이에 구비될 수 있다. 상기 제1 보호층(410) 및 제2 보호층(420)은 각각 내방사성 물질을 포함함으로써, 상기 우주용 페로브스카이트 태양전지(1)의 내방사성을 향상시켜, UV 뿐만 아니라 우주 방사선에 대한 안정성이 강화될 수 있다.

[0047] 본 발명의 일 실시상태에 따르면, 상기 내방사성 물질은 요오드화 암모늄계 화합물을 포함할 수 있다. 요오드화 암모늄계 화합물을 내방사성 물질로 사용함으로써, 상기 제1 보호층 및 제2 보호층의 내방사성을 효과적으로 강화시킬 수 있다. 상기 요오드화 암모늄계 화합물은 방향족 고리 또는 고리형 알킬을 포함할 수 있다. 방향족 고리 또는 고리형 알킬을 포함하는 상기 요오드화 암모늄계 화합물은 상기 제1 보호층 및 제2 보호층의 내방사성을 향상시킬 수 있다.

[0048] 구체적으로, 상기 요오드화 암모늄계 화합물은 하기 화학식 2로 표시되는 화합물을 포함할 수 있다.

[0049] [화학식 2]

[0050] 

[0051] 상기 화학식 2에서, R_1는 탄소수 1 내지 5의 직쇄 또는 분지쇄의 알킬렌이고, R_2는 치환 또는 비치환된 탄소수 6 내지 30의 방향족 고리, 또는 치환 또는 비치환된 탄소수 5 내지 10의 고리형 알킬일 수 있다. 이때, 상기 치환된 방향족 고리는 적어도 하나의 할로겐 이온으로 치환될 수 있다. 또한, 상기 치환된 고리형 알킬은 적어도 하나의 할로겐 이온으로 치환될 수 있다. 상기 방향족 고리는 벤젠 고리일 수 있고, 상기 고리형 알킬은 사이클로

헥실일 수 있다.

[0052] 상기 요오드화 암모늄계 화합물은 Phenethylammonium iodide(PEAI), Cyclohexylethylammonium iodide(CEAI), F-rich pentafluorophenylethylammonium iodide(FEAI) 및 Benzenebutanammonium iodide(PBAI) 중 적어도 하나를 포함할 수 있다.

[0053] 본 발명의 일 실시상태에 따르면, 상기 내방사성 물질은 란탄족 금속 이온을 포함할 수 있다. 구체적으로, 상기 내방사성 물질은 세륨 이온(Ce^{3+}), 유로퓸 이온(Eu^{3+}), 네오디뮴 이온(Nd^{3+}), 사마륨 이온(Sm^{3+}) 및 이터븀 이온(Yb^{3+}) 중 적어도 하나를 포함할 수 있다. 란탄족 금속 이온을 내방사성 물질로 사용함으로써, 상기 제1 보호층 및 제2 보호층의 내방사성을 효과적으로 강화시킬 수 있다.

[0054] 본 발명의 일 실시상태에 따르면, 제1 보호층에 포함되어 있는 내방사성 물질의 함량은 제2 보호층에 포함되어 있는 내방사성 물질의 함량보다 클 수 있다. 구체적으로, 제1 보호층에 포함되어 있는 란탄족 금속 이온의 농도는 제2 보호층에 포함되어 있는 란탄족 금속 이온의 농도보다 클 수 있다. 도 1 및 도 2를 참고하면, 빛(L)이 조사되는 방향에 구비되는 제1 보호층에 포함되어 있는 란탄족 금속 이온의 농도를 제2 보호층의 농도보다 크게 함으로써, 제1 보호층에서 우선적으로 차단 후 투과된 잔여 방사선을 제2 보호층에서 추가 차단하여 상기 광활성층에 대한 내방사성 효과를 극대화할 수 있다. 단, 제1 보호층은 굴절률과 투명도에 영향을 미치지 않는 수준 내에서 농도를 조절하여 제작함으로써, 상기 우주용 페로브스카이트 태양전지 전체 두께와 중량을 효과적으로 감소시킬 수 있다.

[0055] 본 발명의 일 실시상태에 따르면, 상기 페로브스카이트 광활성층과 상기 제1 보호층의 두께의 비는 1:0.004 내지 1:0.07, 1:0.005 내지 1:0.07, 1:0.01 내지 1:0.07, 1:0.03 내지 1:0.07, 또는 1:0.05 내지 1:0.07일 수 있다. 상기 페로브스카이트 광활성층과 상기 제1 보호층의 두께의 비가 전술한 범위 내인 경우, 상기 광활성층의 내방사성 효과를 극대화할 수 있으며, 상기 우주용 페로브스카이트 태양전지 전체 두께와 중량을 효과적으로 감소시킬 수 있다.

[0056] 본 발명의 일 실시상태에 따르면, 상기 페로브스카이트 광활성층과 상기 제2 보호층의 두께의 비는 1:0.004 내지 1:0.07, 1:0.005 내지 1:0.06, 1:0.01 내지 1:0.06, 1:0.03 내지 1:0.06, 또는 1:0.05 내지 1:0.06일 수 있다. 상기 페로브스카이트 광활성층과 상기 제2 보호층의 두께의 비가 전술한 범위 내인 경우, 상기 광활성층의 내방사성 효과를 극대화할 수 있으며, 상기 우주용 페로브스카이트 태양전지 전체 두께와 중량을 효과적으로 감소시킬 수 있다.

[0057] 본 발명의 일 실시상태에 따르면, 상기 페로브스카이트 광활성층의 두께는 100 nm 이상 1,000 nm 이하, 200 nm 이상 800 nm 이하, 300 nm 이상 600 nm 이하, 500 nm 이상 1,000 nm 이하, 또는 600 nm 이상 800 nm 이하일 수 있다. 상기 광활성층의 두께가 전술한 범위 내인 경우, 상기 우주용 페로브스카이트 태양전지의 성능이 우수함과 동시에, 태양전지 전체 두께와 중량이 효과적으로 감소될 수 있다.

[0058] 본 발명의 일 실시상태에 따르면, 상기 제1 보호층의 두께는 2 nm 이상 50 nm 이하, 5 nm 이상 50 nm 이하, 10 nm 이상 50 nm 이하, 20 nm 이상 50 nm 이하, 30 nm 이상 50 nm 이하, 또는 40 nm 이상 50 nm 이하일 수 있다. 상기 제1 보호층의 두께가 전술한 범위 내인 경우, 상기 제1 보호층은 우수한 내방사성 물성을 구현할 수 있다.

[0059] 본 발명의 일 실시상태에 따르면, 상기 제2 보호층의 두께는 2 nm 이상 50 nm 이하, 5 nm 이상 50 nm 이하, 10 nm 이상 50 nm 이하, 20 nm 이상 50 nm 이하, 30 nm 이상 50 nm 이하, 또는 40 nm 이상 50 nm 이하일 수 있다. 상기 제1 보호층의 두께가 전술한 범위 내인 경우, 상기 제2 보호층은 우수한 내방사성 물성을 구현할 수 있다.

[0060] 본 발명의 일 실시상태에 따르면, 상기 제1 보호층의 두께는 상기 제2 보호층의 두께보다 클 수 있다. 구체적으로, 상기 제2 보호층의 두께와 상기 제1 보호층의 두께의 비는 1:1.1 내지 1:2.5, 1:1.2 내지 1:2, 1:1.3 내지 1:1.8, 1:1.1 내지 1:1.5, 또는 1:1.7 내지 1:2.5일 수 있다. 도 1 및 도 2를 참고하면, 빛(L)이 조사되는 방향에 구비되는 제1 보호층의 두께를 제2 보호층의 두께보다 크게 함으로써, 제1 보호층에서 우선적으로 차단 후 투과된 잔여 방사선을 제2 보호층에서 추가 차단하여 상기 광활성층에 대한 내방사성 효과를 극대화할 수 있다. 또한, 상기 제2 보호층의 두께와 상기 제1 보호층의 두께의 비를 전술한 범위로 조절함으로써, 상기 우주용 페로브스카이트 태양전지 전체 두께와 중량을 효과적으로 감소시킬 수 있다.

[0061] 본 발명의 일 실시상태에 따르면, 상기 제1 보호층은 란탄족 금속 이온 전구체를 이용하여 형성될 수 있다. 예를 들어, 란탄족 금속 이온 전구체는 CeX_3, EuX_3, NdX_3, SmX_3 및 YbX_3 중 적어도 하나를 포함할 수 있다. 이때,

X는 할로겐 음이온이며, Cl^-, Br^-, 또는 I^-일 수 있다. 구체적으로, 상기 란탄족 금속 이온 전구체는 $CeCl_3$, $EuCl_3$, $NdCl_3$, $SmCl_3$ 및 $YbCl_3$ 중 적어도 하나를 포함할 수 있다. 상기 란탄족 금속 이온 전구체를 이용함으로써, 양성자선 노출 후에도 우수한 전기화학적 물성을 유지할 수 있는 우주용 페로브스카이트 태양전지를 효과적으로 구현할 수 있다.

[0062] 본 발명의 일 실시상태에 따르면, 상기 제2 보호층은 란탄족 금속 이온 전구체를 이용하여 형성될 수 있다. 예를 들어, 란탄족 금속 이온 전구체는 CeX_3, EuX_3, NdX_3, SmX_3 및 YbX_3 중 적어도 하나를 포함할 수 있다. 이때, X는 할로겐 음이온이며, Cl^-, Br^-, 또는 I^-일 수 있다. 구체적으로, 상기 란탄족 금속 이온 전구체는 $CeCl_3$, $EuCl_3$, $NdCl_3$, $SmCl_3$ 및 $YbCl_3$ 중 적어도 하나를 포함할 수 있다. 상기 란탄족 금속 이온 전구체를 이용함으로써, 양성자선 노출 후에도 우수한 전기화학적 물성을 유지할 수 있는 우주용 페로브스카이트 태양전지를 효과적으로 구현할 수 있다.

[0063] 이때, 상기 제1 보호층을 형성하기 위한 란탄족 금속 이온 전구체와 상기 제2 보호층을 형성하기 위한 란탄족 금속 이온 전구체의 종류는 동일하거나 상이할 수 있다.

[0064] 본 발명의 일 실시상태에 따르면, 상기 우주용 페로브스카이트 태양전지는, 상기 제1 전극의 일면 상에 구비되는 기판; 상기 제1 전극과 상기 제1 보호층 사이에 구비되는 전자수송층; 및 상기 제2 전극과 상기 제2 보호층 사이에 구비되는 정공수송층;을 더 포함할 수 있다.

[0065] 도 1을 참고하면, 상기 우주용 페로브스카이트 태양전지(1)는 기판(100), 제1 전극(210), 전자수송층(500), 제1 보호층(410), 페로브스카이트 광활성층(300), 제2 보호층(420), 정공수송층(600) 및 제2 전극(220)이 순차적으로 적층된 구조를 가질 수 있다.

[0066] 본 발명의 일 실시상태에 따르면, 상기 기판은 당업계에서 태양전지에 사용되는 기판을 제한 없이 사용할 수 있다. 구체적으로, 고강도 및 내열성의 c-plane 사파이어 기판, 태양광을 투과시킬 수 있는 투명한 내열성 기판, 유연(flexible) 기판 등을 사용할 수 있다. 예를 들어, 상기 기판을 형성하기 위한 물질로, 유리, 폴리에틸렌 테레프탈레이트(Polyethylene terephthalate, PET), 폴리에테르 설폰(Polyethersulfone, PES), 폴리에틸렌 나프탈레이트(Polyethylene naphthalate, PEN), 폴리카보네이트(Polycarbonate, PC), 폴리메틸메타크릴레이트(Polymethyl methacrylate, PMMA), 폴리이미드 (Polyimide, PI), 에틸렌비닐아세테이트(Ethylene vinyl acetate, EVA), 아몰포스폴리에틸렌테레프탈레이트(Amorphous polyethylene terephthalate, APET), 폴리프로필렌테레프탈레이트(Polypropylene terephthalate, PPT), 폴리에틸렌테레프탈레이트글리콜(Polyethylene terephthalate glycol, PETG), 폴리사이클로헥실렌디메틸렌테레프탈레이트(Polycyclohexylene dimethylene terephthalate glycol-modified, PCTG), 변성트리아세틸셀룰로스(Triacetylcellulose, TAC), 사이클로올레핀폴리머(Cyclo olefin polymer, COP), 사이클로올레핀코폴리머(Cyclo olefin copolymer, COC), 디시클로펜타디엔(Dicyclopentadiene, DCPD), 시클로펜타디엔(Cyclopentadiene, CPD), 폴리아릴레이트(Polyarylate, PAR), 폴리에테르이미드(Polyetherimide, PEI), 폴리디메틸실론세인(Polydimethylsiloxane, PDMS), 실리콘수지, 불소수지 및 변성에폭시수지 중 적어도 하나를 포함할 수 있다.

[0067] 본 발명의 일 실시상태에 따르면, 상기 전자수송층은 전자수송층을 형성하기 위한 물질로, Ti, Sn, Zn, W, Zr, Ga, In, Y, Nb, Ta 및 V 중 적어도 하나의 금속의 산화물을 포함할 수 있다. 또한, 상기 전자수송층은 전자수송층을 형성하기 위한 물질로, 6,6-페닐-C61-부틸릭엑시드메틸에스터(PCBM(C61)), PCBM(C60), PCBM(C70), PCBM(C71), PCBM(C76), PCBM(C80), PCBM(C82), indene-C60 bisadduct(ICBA) 및 6,6-페닐-C61-부틸릭엑시드콜레스테릴에스터(PCBCR) 중에서 선택되는 플러렌 유도체, 폴리벤지미다졸(polybenzimidazole), 페릴렌(perylene), poly[[N,N'-bis(2-octyldodecyl)-napthalene-1,4,5,8-bis(dicarboximide)-2,6-diyl]-alt-5,5'-(2,2'-bithiophene)](NDI2OD-T2), naphthalene diimide(NDI)-selenophene copolymer(PNDIS-HD), poly[(E)-2,7-bis(2-decyltetradecyl)-4-methyl-9-(5-(2-(5-methylthiophen-2-yl)vinyl)thiophen-2-yl)benzo[lmn][3,8] phenanthroline-1,3,6,8(2H,7H)-tetraone] (PNDI-TVT), poly[[N,N′ -bis(2-hexyldecyl)naphthalene-1,4,5,8-bis(dicarboximide)-2,6-diyl]-alt-5,5′ -thiophene] (PNDI2HD-T), NiOx, BCP(Bathocuproine) 및 P형 산화물 반도체 중 적어도 하나를 포함할 수 있다.

[0068] 본 발명의 일 실시상태에 따르면, 상기 정공수송층은 정공수송층을 형성하는 물질로, MeO-2PACz((2-(3,6-Dimethoxy-9H-carbazol-9-yl)ethyl)phosphonic acid), Spiro-OMeTAD(2,2',7,7'-tetrakis(N,N-p-dimethoxyphenylamino)-9,9'-spirobifluorene), P3HT(poly[3-hexylthiophene]), PCPDTBT(Poly[2,6-(4,4-bis-

(2-ethylhexyl)-4H-cyclopenta [2,1-b;3,4-b′]dithiophene)-alt-4,7(2,1,3-benzothiadiazole)]), PCDTBT(Poly[N-9′ -heptadecanyl-2,7-carbazole-alt-5,5-(4′ ,7′ -di-2-thienyl-2′ ,1′ ,3′ -benzothiadiazole)]), PTAA(poly[bis(4-phenyl)(2,4,6-trimethylphenyl)amine]), poly[bis(4-phenyl)(2,4,6-trimethylphenyl)amine]), PEDOT:PSS (poly(3,4-ethylenedioxythiophene) poly(styrenesulfonate), 벤조티아디아졸(benzothiadiazole), 디케토피롤로피롤(diketopyrrolopyrrole), 벤조디티오펜(benzodithiophene), 카르바졸 (carbazole), 플루오렌(fluorene), PS-PAA(polystyrenepolyacrylic acid block copolymer), poly-TPD(Poly(4-butylphenyl-diphenyl-amine)), PPV(polypheylene vinylene), PVP(polyvinylpyrrolidone), NiOx, 및 P형 산화물 반도체 중 적어도 하나를 포함할 수 있다.

[0069] 본 발명의 일 실시상태에 따르면, 상기 우주용 페로브스카이트 태양전지는, 상기 제1 전극의 일면 상에 구비되는 기판; 상기 제1 전극과 상기 제1 보호층 사이에 구비되는 정공수송층; 및 상기 제2 전극과 상기 제2 보호층 사이에 구비되는 전자수송층;을 더 포함할 수 있다.

[0070] 도 2를 참고하면, 상기 우주용 페로브스카이트 태양전지(1)는 기판(100), 제1 전극(210), 정공수송층(600), 제1 보호층(410), 페로브스카이트 광활성층(300), 제2 보호층(420), 전자수송층(500) 및 제2 전극(220)이 순차적으로 적층된 구조를 가질 수 있다. 이때, 기판(100), 제1 전극(210), 정공수송층(600), 제1 보호층(410), 페로브스카이트 광활성층(300), 제2 보호층(420), 전자수송층(500) 및 제2 전극(220)은 전술한 것과 동일할 수 있다.

[0071] 본 발명의 일 실시상태에 따르면, 상기 기판, 상기 제1 전극, 상기 제2 전극, 상기 전자수송층 및 상기 정공수송층 중 적어도 하나는 내방사성 물질을 포함할 수 있다.

[0072] 본 발명의 일 실시상태에 따르면, 상기 기판은 상기 내방사성 물질을 포함할 수 있다. 상기 기판에 상기 내방사성 물질이 포함됨으로써, 기판의 다크닝(darkening) 현상을 효과적으로 방지할 수 있다. 구체적으로, 상기 기판은 기판 형성용 조성물을 포함할 수 있다. 상기 기판 형성용 조성물은 기판을 형성하기 위한 물질과 상기 내방사성 물질을 포함할 수 있다. 즉, 상기 기판 형성용 조성물은 내방사성 물질로서 상기 요오드화 암모늄계 화합물 및 상기 란탄족 금속 이온 전구체 중 적어도 하나를 포함할 수 있다. 상기 기판 형성용 조성물 100 중량부 기준으로, 상기 내방사성 물질의 함량은 0.5 중량부 이상 3 중량부 이하일 수 있다. 상기 내방사성 물질의 함량이 전술한 범위 내인 경우, 상기 기판의 물성 저하를 억제하면서, 기판의 다크닝(darkening) 현상을 효과적으로 방지할 수 있다.

[0073] 본 발명의 일 실시상태에 따르면, 상기 제1 전극은 상기 내방사성 물질을 포함할 수 있다. 상기 제1 전극에 상기 내방사성 물질이 포함됨으로써, 상기 우주용 페로브스카이트 태양전지의 내방사성이 향상될 수 있다. 구체적으로, 상기 제1 전극은 제1 전극 형성용 조성물을 포함할 수 있다. 상기 제1 전극 형성용 조성물은 제1 전극을 형성하기 위한 물질과 상기 내방사성 물질을 포함할 수 있다. 즉, 상기 제1 전극 형성용 조성물은 내방사성 물질로서 상기 요오드화 암모늄계 화합물 및 상기 란탄족 금속 이온 전구체 중 적어도 하나를 포함할 수 있다. 상기 제1 전극 형성용 조성물 100 중량부 기준으로, 상기 내방사성 물질의 함량은 0.5 중량부 이상 5 중량부 이하일 수 있다. 상기 내방사성 물질의 함량이 전술한 범위 내인 경우, 상기 우주용 페로브스카이트 태양전지의 내방사성이 효과적으로 향상될 수 있다.

[0074] 본 발명의 일 실시상태에 따르면, 상기 제2 전극은 상기 내방사성 물질을 포함할 수 있다. 상기 제2 전극에 상기 내방사성 물질이 포함됨으로써, 상기 우주용 페로브스카이트 태양전지의 내방사성이 향상될 수 있다. 구체적으로, 상기 제2 전극은 제2 전극 형성용 조성물을 포함할 수 있다. 상기 제2 전극 형성용 조성물은 제2 전극을 형성하기 위한 물질과 상기 내방사성 물질을 포함할 수 있다. 즉, 상기 제2 전극 형성용 조성물은 내방사성 물질로서 상기 요오드화 암모늄계 화합물 및 상기 란탄족 금속 이온 전구체 중 적어도 하나를 포함할 수 있다. 상기 제2 전극 형성용 조성물 100 중량부 기준으로, 상기 내방사성 물질의 함량은 0.2 중량부 이상 10 중량부 이하일 수 있다. 상기 내방사성 물질의 함량이 전술한 범위 내인 경우, 상기 우주용 페로브스카이트 태양전지의 내방사성이 효과적으로 향상될 수 있다.

[0075] 본 발명의 일 실시상태에 따르면, 상기 전자수송층은 상기 내방사성 물질을 포함할 수 있다. 상기 전자수송층에 상기 내방사성 물질이 포함됨으로써, 빛이 조사되는 경우에 광활성층에 포함된 페로브스카이트의 분해를 억제하여 안정성을 향상시킬 수 있다. 또한, 페로브스카이트의 전하분해능력이 향상될 수 있으며, 이에 따라 상기 우주용 페로브스카이트 태양전지의 성능이 효과적으로 개선될 수 있다.

[0076] 구체적으로, 상기 전자수송층은 전자수송층 형성용 조성물을 포함할 수 있다. 상기 전자수송층 형성용 조성물은 전자수송층을 형성하기 위한 물질과 상기 내방사성 물질을 포함할 수 있다. 즉, 상기 전자수송층 형성용 조성물

은 내방사성 물질로서 상기 요오드화 암모늄계 화합물 및 상기 란탄족 금속 이온 전구체 중 적어도 하나를 포함할 수 있다. 상기 전자수송층 형성용 조성물 100 중량부 기준으로, 상기 내방사성 물질의 함량은 0.03 중량부 이상 0.2 중량부 이하일 수 있다. 상기 내방사성 물질의 함량이 전술한 범위 내인 경우, 광활성층의 안정성과 전하분해능력이 향상될 수 있다.

[0077] 본 발명의 일 실시상태에 따르면, 상기 정공수송층은 상기 내방사성 물질을 포함할 수 있다. 상기 정공수송층에 상기 내방사성 물질이 포함됨으로써, 빛이 조사되는 경우에 광활성층에 포함된 페로브스카이트의 분해를 억제하여 안정성을 향상시킬 수 있다. 또한, 페로브스카이트의 전하분해능력이 향상될 수 있으며, 이에 따라 상기 우주용 페로브스카이트 태양전지의 성능이 효과적으로 개선될 수 있다.

[0078] 구체적으로, 상기 정공수송층은 정공수송층 형성용 조성물을 포함할 수 있다. 상기 정공수송층 형성용 조성물은 정공수송층을 형성하기 위한 물질과 상기 내방사성 물질을 포함할 수 있다. 즉, 상기 정공수송층 형성용 조성물은 내방사성 물질로서 상기 요오드화 암모늄계 화합물 및 상기 란탄족 금속 이온 전구체 중 적어도 하나를 포함할 수 있다. 상기 정공수송층 형성용 조성물 100 중량부 기준으로, 상기 내방사성 물질의 함량은 0.03 중량부 이상 0.2 중량부 이하일 수 있다. 상기 내방사성 물질의 함량이 전술한 범위 내인 경우, 광활성층의 안정성과 전하분해능력이 향상될 수 있다.

[0080] 본 발명의 일 실시상태는, 상기 우주용 페로브스카이트 태양전지를 제조하는 방법을 제공한다.

[0081] 본 발명의 일 실시상태에 따르면, 상기 우주용 페로브스카이트 태양전지를 제조하는 방법은, 기판을 준비하는 단계; 상기 기판 상에 제1 전극을 형성하는 단계; 상기 제1 전극 상에 전자수송층을 형성하는 단계; 상기 전자수송층 상에 제1 보호층을 형성하는 단계; 상기 제1 보호층 상에 페로브스카이트 광활성층을 형성하는 단계; 상기 페로브스카이트 광활성층 상에 제2 보호층을 형성하는 단계; 상기 제2 보호층 상에 정공수송층을 형성하는 단계; 및 상기 정공수송층 상에 제2 전극을 형성하는 단계를 포함할 수 있다.

[0082] 즉, 상기 우주용 페로브스카이트 태양전지를 제조하는 방법은 정구조의 태양전지를 제조할 수 있다.

[0083] 본 발명의 일 실시상태에 따르면, 상기 기판을 준비하는 단계는 기판을 세척하는 단계를 포함할 수 있다. 예를 들어, 이소프로필알코올(IPA), 아세톤(Acetone), 에틸 알코올(Ethyl Alcohol) 등의 용매를 이용한 초음파 세척법을 통해 기판을 세척할 수 있다.

[0084] 본 발명의 일 실시상태에 따르면, 상기 기판을 준비하는 단계는 상기 기판 형성용 조성물을 이용하여 기판을 제조하는 단계를 포함할 수 있다. 이를 통해, 상기 내방사성 물질이 함유된 기판을 준비할 수 있다.

[0085] 본 발명의 일 실시상태에 따르면, 상기 기판 상에 제1 전극을 형성하는 단계는 스퍼터링(Sputtering), e-beam 및 진공열증착법(vacuum thermal evaporation) 중 적어도 하나의 방법을 통해 제1 전극을 형성하는 것을 포함할 수 있다.

[0086] 본 발명의 일 실시상태에 따르면, 상기 제1 전극 상에 상기 전자수송층을 형성하는 단계는, CBD(chemical bath deposition) 방법, 에어로졸 스프레이 열분해(aerosol spray pyrolysis) 방법, 용액 공정법 및 진공열증착법 중 적어도 하나의 방법을 통해 전자수송층을 형성하는 것을 포함할 수 있다. 이때, 전자수송층을 형성하는 물질로서 SnO_2, TiO_2 등을 사용할 수 있다. 또한, 상기 전자수송층은 상기 내방사성 물질을 포함할 수 있다.

[0087] 본 발명의 일 실시상태에 따르면, 상기 전자수송층 상에 제1 보호층을 형성하는 단계는 용액 공정법 및 진공열증착법 중 적어도 하나의 방법을 통해 제1 보호층을 형성하는 것을 포함할 수 있다.

[0088] 본 발명의 일 실시상태에 따르면, 상기 페로브스카이트 광활성층은 페로브스카이트를 형성할 수 있는 전구체 물질을 이용하여 제조될 수 있다. 또한, 상기 페로브스카이트 광활성층은 페로브스카이트 단결정(single crystal)을 활용하여 제조될 수 있다. 예를 들어, 페로브스카이트를 단결정 형태로 성장시켜 상기 광활성층을 형성하거나, 또는 페로브스카이트 단결정을 용융시키고 용액공정을 통해 상기 광활성층을 형성할 수 있다.

[0089] 본 발명의 일 실시상태에 따르면, 상기 페로브스카이트 광활성층을 형성하는 단계는, 용액 공정법을 이용하여 상기 페로브스카이트 전구체 용액으로부터 페로브스카이트 광활성층을 형성할 수 있다. 예를 들어, 스핀 코팅을 수행한 후, 100 ℃ 이상 150 ℃ 이하의 온도에서 가열(annealing)하여 페로브스카이트 광활성층을 형성할 수 있다. 상기 페로브스카이트 전구체 용액은 페로브스카이트를 형성할 수 있는 전구체 물질을 포함할 수 있다.

[0090] 본 발명의 일 실시상태에 따르면, 상기 광활성층 상에 제2 보호층을 형성하는 단계는 용액 공정법 및 진공열증

착법 중 적어도 하나의 방법을 통해 제2 보호층을 형성하는 것을 포함할 수 있다.

[0091] 본 발명의 일 실시상태에 따르면, 상기 제2 보호층 상에 정공수송층을 형성하는 단계는 용액 공정법, 스퍼터링, e-beam 및 진공열증착법 중 적어도 하나의 방법을 통해 정공수송층을 형성하는 것을 포함할 수 있다. 이때, 상기 정공수송층은 상기 내방사성 물질을 포함할 수 있다.

[0092] 본 발명의 일 실시상태에 따르면, 상기 정공수송층 상에 제2 전극을 형성하는 단계는, 진공열증착법을 통해 제2 전극을 형성하는 것을 포함할 수 있다.

[0093] 본 발명의 일 실시상태에 따르면, 상기 용액 공정은 스핀코팅(spin coating), 딥코팅(dip coating), 스프레이코팅(spray coating), 닥터블레이드코팅(Dr. blade coating), 롤코팅(roll coating), 바코팅(bar coating), 그래비에 코팅(gravier coating) 및 슬롯다이코팅(slot-die coating) 중 적어도 어느 하나를 포함할 수 있다.

[0094] 본 발명의 일 실시상태에 따르면, 상기 우주용 페로브스카이트 태양전지를 제조하는 방법은, 기판을 준비하는 단계; 상기 기판 상에 제1 전극을 형성하는 단계; 상기 제1 전극 상에 정공수송층을 형성하는 단계; 상기 정공수송층 상에 제1 보호층을 형성하는 단계; 상기 제1 보호층 상에 페로브스카이트 광활성층을 형성하는 단계; 상기 페로브스카이트 광활성층 상에 제2 보호층을 형성하는 단계; 상기 제2 보호층 상에 전자수송층을 형성하는 단계; 및 상기 전자수송층 상에 제2 전극을 형성하는 단계를 포함할 수 있다.

[0095] 즉, 상기 우주용 페로브스카이트 태양전지를 제조하는 방법은 역구조의 태양전지를 제조할 수 있다.

[0096] 본 실시상태에 따른 역구조의 우주용 페로브스카이트 태양전지를 제조하는 방법에서는, 전술한 실시상태에 따른 정구조의 우주용 페로브스카이트 태양전지를 제조하는 방법 대비하여 차이가 있는 부분을 중점으로 설명하도록 한다.

[0097] 본 발명의 일 실시상태에 따르면, 정공수송층을 형성하는 단계는, 용액 공정을 통해 정공수송층 형성용 조성물로부터 정공수송층을 형성하는 것을 포함할 수 있다. 이때, 정공수송층을 형성하는 물질로서 MeO-2PACz, PTAA 등을 사용할 수 있다.

[0098] 본 발명의 일 실시상태에 따르면, 전자수송층을 형성하는 단계는, 진공열증착법 및 용액 공정법 중 적어도 하나의 방법을 통해 전자수송층을 형성하는 것을 포함할 수 있다. 이때, 전자수송층을 형성하는 물질로서 C60, BCP(Bathocuproine) 등을 사용할 수 있다.

[0100] 이하 실시예를 통하여 본 발명을 더욱 상세히 설명하기로 한다. 이들 실시예는 단지 설명하기 위한 것이며 본 발명을 제한하는 것은 아니다.

[0102] **실시예: 우주용 페로브스카이트 태양전지**

[0103] 기판/제1 전극/정공수송층/제1 보호층/페로브스카이트 광활성층/제2 보호층/전자수송층/제2 전극의 구조를 가지는 우주용 페로브스카이트 태양전지를 하기의 방법을 통해 제조하였다.

[0105] 기판 및 제1 전극의 준비

[0106] 제1 전극이 구비된 기판으로, 플루오린 틴 옥사이드(FTO)가 구비된 유리기판을 준비하였다. 상기 기판에 대하여, 초음파 세척법을 통해 이소프로필알콜(IPA), 아세톤, 에탄올을 순차적으로 이용하여 기판을 세척하고, 자외선-오존(UV-Ozone) 건식세정법으로 기판을 표면처리 하였다.

[0108] 정공수송층 형성

[0109] 정공수송층을 형성하는 물질로 MeO-2PACz을 0.1 mg/mL의 농도로 에탄올에 용해시켜 정공수송층 전구체를 준비하였다. 이후, 전구체를 3000 rpm의 속도로 30 초간 제1 전극(FTO) 상에 코팅한 후, 100 ℃에서 10분 간 어닐링하여 정공수송층을 형성하였다.

[0111] 제1 보호층 형성

[0112] 내방사성 물질로 란탄족 금속 이온을 포함하는 $CeCl_3$ 분말을 사용하였다. 이후, 진공열증착법(vacuum thermal evaporation)을 통해, 정공수송층 상에 제1 보호층을 형성하였다. 구체적으로, 열증착기(Thermal Evaporator; KOREAKIYON LTD.,CO, KBEV - 150(2M2O))을 이용하여 진공열증착을 수행하였다. 이때, 진공열증착 공정은 10^{-6} Torr의 압력, 0.2 Å/s의 증착 속도 조건에서 수행되었으며, 제1 보호층의 두께가 8 nm 되도록 진행되었다.

[0114] 페로브스카이트 광활성층의 제조

[0115] 요오드화세슘(CsI), 요오드화포름암모늄(FAI), 요오드화납(PbI_2)이 0.15:0.85:1의 몰비(molar ratio)로 혼합된 용질을 N,N-디메틸폼아마이드(N,N-dimethylformamide, DMF)와 디메틸 설폭사이드(Dimethyl Sulfoxide, DMSO)가 4:1로 혼합된 용매에 1.8M 농도로 용해시켜 페로브스카이트 전구체 용액을 제조하였다.

[0116] 이후, 페로브스카이트 전구체 용액을 제1 보호층 상에 도포하고, 5,000 rpm의 속도로 20초간 회전시키고, 100 ℃로 10 분간 열처리하여 최종적으로 페로브스카이트 광활성층을 제조하였다. 이때, 페로브스카이트 광활성층의 두께는 600 nm이었다.

[0118] 제2 보호층의 제조

[0119] 내방사성 물질로 란탄족 금속 이온을 포함하는 CeI_3 분말을 사용하였다. 이후, 진공열증착법을 통해, 페로브스카이트 광활성층 상에 제2 보호층을 형성하였다. 이때, 진공열증착 공정은 10^{-6} Torr의 압력, 0.2 Å/s의 증착 속도 조건에서 수행되었으며, 제2 보호층의 두께는 6 nm 되도록 진행되었다.

[0121] 전자수송층의 제조

[0122] 전자수송층을 형성하는 물질로 PCBM(C60) 및 Bathocuproine(BCP)을 사용하였다. 진공열증착법(압력: 10^{-6} Torr, 증착 속도: 0.2 Å/s)을 통해 제2 보호층 상에 순차적으로 C60과 BCP를 코팅하여 전자수송층을 형성하였다. 이때, C60 코팅의 두께는 25 nm이었고, BCP 코팅의 두께는 6 nm이었다.

[0124] 제2 전극의 제조

[0125] 진공열증착법(압력: 10^{-6} Torr, 증착 속도: 0.2 Å/s)을 통해 전자수송층 상에 은(Ag)을 코팅하여 제2 전극을 제조하였다. 이때, 제2 전극의 두께는 80 nm이었다.

[0127] **비교예: 페로브스카이트 태양전지**

[0128] 상기 실시예에서, 제1 보호층 및 제2 보호층을 형성하지 않은 것을 제외하고, 상기 실시예와 동일한 방법을 수행하여, 기판/제1 전극/정공수송층/페로브스카이트 광활성층/전자수송층/제2 전극의 구조를 가지는 페로브스카이트 태양전지를 제조하였다.

[0130] **실험예: 저궤도 우주환경 조건에서의 양성자선 조사시험(proton irradiation test)**

[0131] 상기 실시예에서 제조된 우주용 페로브스카이트 태양전지와 비교예에서 제조된 페로브스카이트 태양전지에 대하여, 하기의 방법으로 양성자선 조사 전과 후의 태양전지 성능평가를 진행하였다.

[0132] AM 1.5G 조건에서 100 mW/cm^2 세기의 빛을 조사할 수 있는 솔라 시뮬레이터로 광원을 형성하였다. 이후, 양성자선 조사에 따른 소자 내부 광전류-전압 특성 변화를 키슬리 2400 소스미터(Keithley 2400 source meter)를 이용하여 기록하였다.

[0133] 양성자선 조사 조건은 저궤도(Low Earth Orbit) 환경에서의 양성자 에너지 범위인 100 keV 내지 200 MeV 중 태양전지의 페로브스카이트 광활성층에 직접적으로 투과되어 영향을 줄 수 있는 에너지 범위가 1 MeV 내지 10 MeV인 것을 반영하여, 대표 값으로 10 MeV를 선정하여 조사실험을 진행하였다.

[0134] 도 3은 본 발명의 실시예에서 제조된 우주용 페로브스카이트 태양전지에 대한 양성자선 조사 전과 후의 태양전지 성능평가 결과를 나타낸 도면이고, 도 4는 비교예에서 제조된 페로브스카이트 태양전지에 대한 양성자선 조사 전과 후의 태양전지 성능평가 결과를 나타낸 도면이다.

[0135] 도 3 및 도 4를 참조하면, 본 발명의 실시예에서 제조된 우주용 페로브스카이트 태양전지의 경우, 10 MeV 양성자선 조사 후에도 광전류-전압 특성이 유지된 것을 확인하였다. 반면, 비교예에서 제조된 페로브스카이트 태양전지의 경우, 10 MeV 양성자선 조사 후에 특성이 매우 저하되는 것을 확인하였다.

[0136] 따라서, 본 발명의 일 실시상태에 따른 우주용 페로브스카이트 태양전지는, 우주 조건에서도 효과적으로 구동이 가능함을 알 수 있다.

부호의 설명

[0137] 1: 우주용 페로브스카이트 태양전지

100: 기판

210: 제1 전극

220: 제2 전극

300: 페로브스카이트 광활성층

410: 제1 보호층

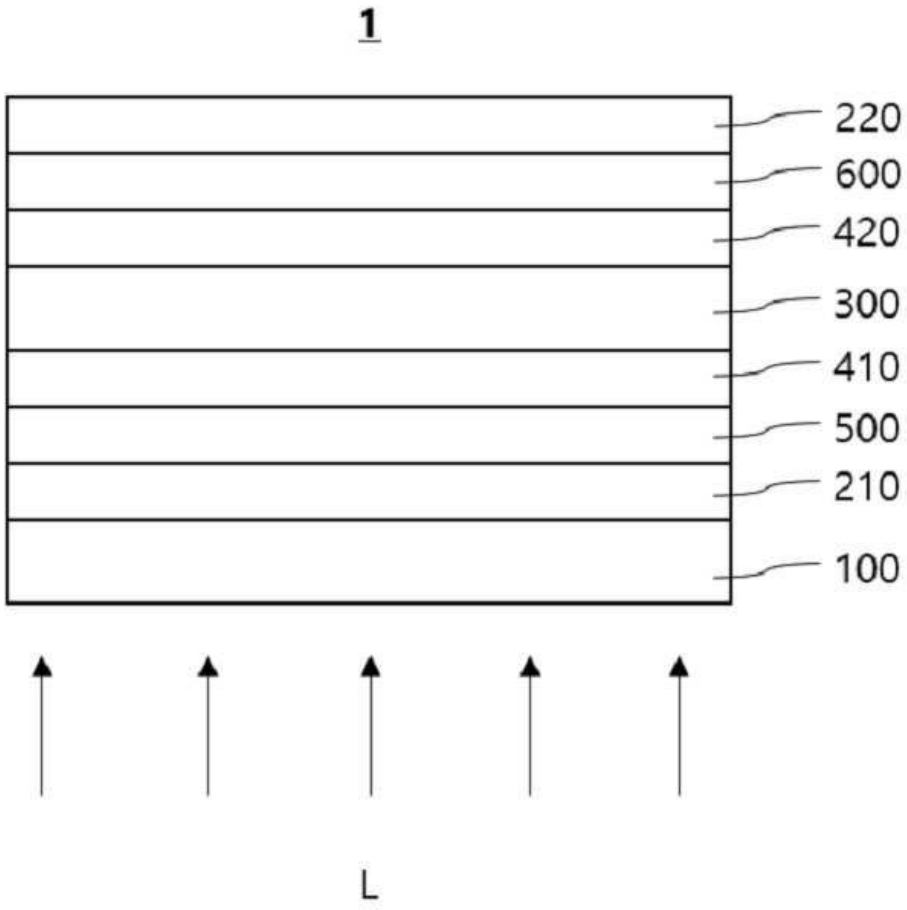
420: 제2 보호층

500: 전자수송층

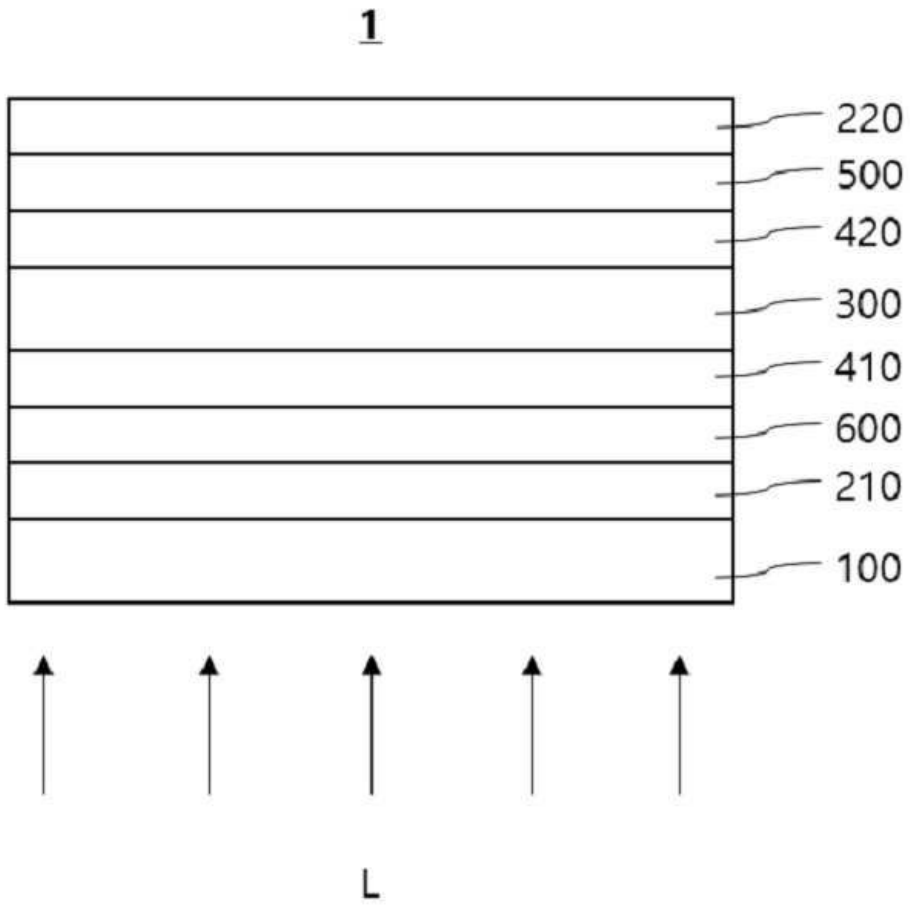
600: 정공수송층

도면

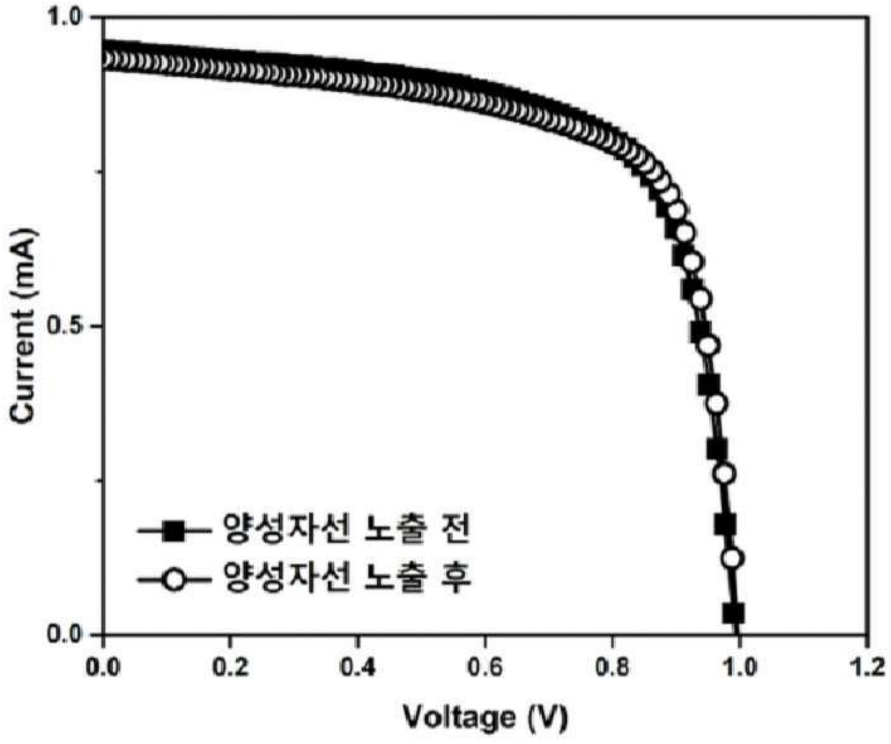
도면1



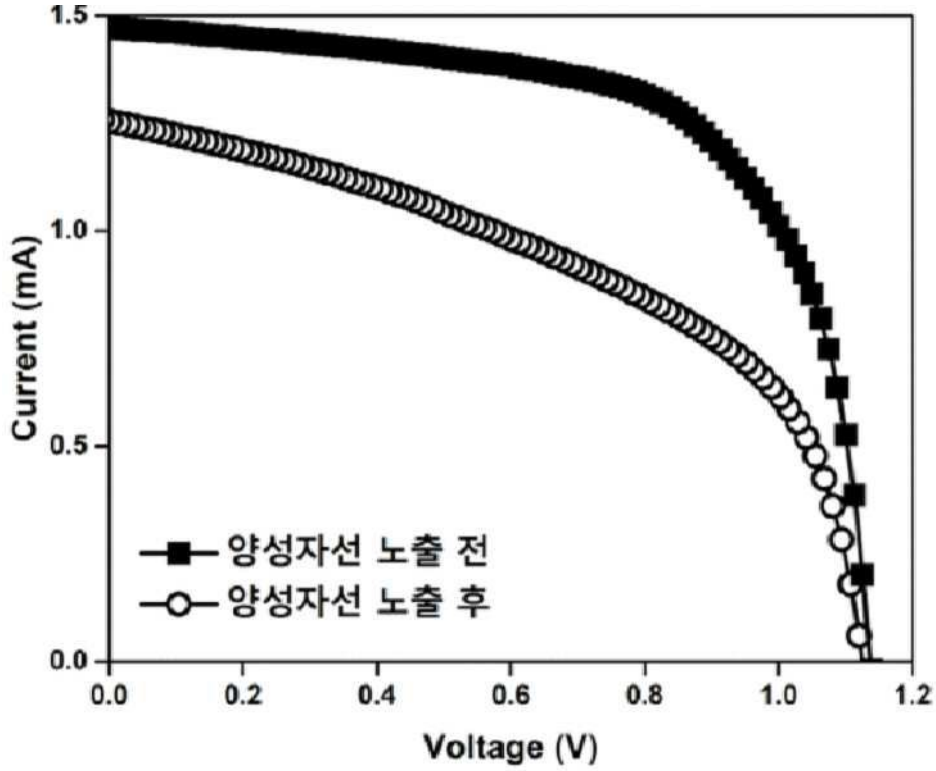
도면2


1
220
500
420
300
410
600
210
100
L

도면3


1.0
0.5
0.0
Current (mA)
0.0
0.2
0.4
0.6
0.8
1.0
1.2
Voltage (V)
양성자선 노출 전
양성자선 노출 후

도면4


1.5
1.0
0.5
0.0
Current (mA)
0.0
0.2
0.4
0.6
0.8
1.0
1.2
Voltage (V)
양성자선 노출 전
양성자선 노출 후