



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2020-0033593
(43) 공개일자 2020년03월30일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
H02S 50/10 (2014.01) H01L 31/0224 (2006.01)
(52) CPC특허분류
H02S 50/10 (2015.01)
G01R 15/241 (2013.01)
(21) 출원번호 10-2018-0113057
(22) 출원일자 2018년09월20일
심사청구일자 2018년09월20일

(71) 출원인
한밭대학교 산학협력단
대전광역시 유성구 동서대로 125 (덕명동)
(72) 발명자
정중희
서울특별시 강동구 상암로27길 28-16 (천호동) 2층
홍기하
대전광역시 유성구 반석동로 33 반석마을5단지아파트 506-2102호
(74) 대리인
특허법인 플러스

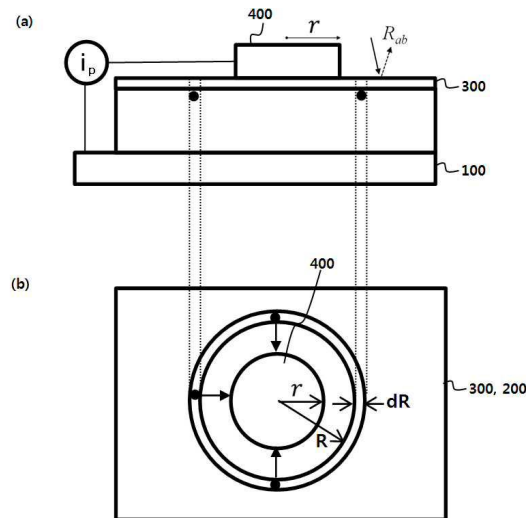
전체 청구항 수 : 총 13 항

(54) 발명의 명칭 전하 운반자 수평 포집 거리 측정 방법

(57) 요약

본 발명에 따른 전하 운반자 수평 포집 거리 측정방법은 광흡수층; 상기 광흡수층 상부에 위치하는 금속전극;을 포함하는 대상 태양전지를 이용하며, 상기 대상 태양전지에 광을 조사하여 광전류를 측정하는 단계; 및 상기 광전류를 이용하여 전하 운반자 수평 포집 거리를 도출하는 단계;를 포함한다. 본 발명에 의한 측정방법은 비교적 간단하면서도 높은 정확도로 전하 운반자 수평 포집거리를 측정할 수 있는 장점이 있다.

대표도 - 도2



(52) CPC특허분류

H01L 31/022425 (2013.01)

Y02E 10/544 (2013.01)

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호 1345285952

부처명 교육부

연구관리전문기관 한국연구재단

연구사업명 일반연구자지원사업

연구과제명 플렉시블 CIGS 태양전지용 투명전극: 수분에 대한 장기 안정성 & 비진공 공정

기 여 율 1/2

주관기관 한밭대학교

연구기간 2016.11.01 ~ 2019.10.31

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호 1711051617

부처명 과학기술정보통신부

연구관리전문기관 한국연구재단

연구사업명 신진연구자지원사업

연구과제명 유무기복합 페로브스카이트 소재의 결함 및 도핑 특성 연구

기 여 율 1/2

주관기관 한밭대학교

연구기간 2015.05.01 ~ 2018.04.30

명세서

청구범위

청구항 1

광흡수층; 및

상기 광흡수층 상부에 위치하는 금속전극;

을 포함하는 대상 태양전지를 이용하여,

상기 대상 태양전지에 광을 조사하여 광전류를 측정하는 단계; 및

상기 광전류를 이용하여 전하 운반자 수평 포집 거리를 도출하는 단계;를 포함하는 전하 운반자 수평 포집 거리 측정방법.

청구항 2

제 1항에 있어서,

상기 광흡수층에 대한 상기 대상 태양전지에 조사되는 광의 흡수 깊이는 150nm 이내인 전하 운반자 수평 포집 거리 측정방법.

청구항 3

제 1항에 있어서,

상기 대상 태양전지에 조사되는 광은 단색(monochromatic) 광인 전하 운반자 수평 포집 거리 측정방법.

청구항 4

제 3항에 있어서,

상기 광전류는 상기 대상 태양전지에 백색광을 조사한 후, 단색광을 조사하여 얻어지는 전류인 전하 운반자 수평 포집 거리 측정방법.

청구항 5

제 1항에 있어서,

상기 금속 전극은 원판, 타원형판 또는 다각판 형상인 전하 운반자 수평 포집 거리 측정방법.

청구항 6

제 1항에 있어서,

상기 금속 전극의 반경에 따른 광전류 값을 기반으로, 하기 식 1을 이용하여 전하 운반자 수평 포집 거리를 산출하는 전하 운반자 수평 포집 거리 측정방법.

(식 1)

$$i_p = 2\pi J_g L_{lc} (r + L_{lc})$$

(식 1에서 i_p 는 측정되는 광전류, J_g 는 광전류 밀도, L_{lc} 는 전하 운반자 수평 포집 거리, r 은 금속 전극의 반경이다)

청구항 7

제 6항에 있어서,

상기 금속 전극의 반경을 달리하여 상기 광전류를 측정하는 단계가 수행되는 전하 운반자 수평 포집 거리 측정

방법.

청구항 8

제 1항에 있어서,

상기 전하 운반자 수평 포집 거리는 하기 식 2에 의해 산출되는 전하 운반자 수평 포집 거리 측정방법.

(식 2)

$$L_{lc} = \frac{(\frac{hc}{\lambda})(\frac{i_p}{I_0 L_{peri}})}{e(1-R_f)}$$

(관계식 2에서, L_{lc} 는 전하 운반자 수평 포집 거리, h 는 프랑크 상수, c 는 광속, λ 는 조사되는 광의 파장, i_p 는 측정된 광전류, I_0 는 조사되는 광의 강도, L_{peri} 는 금속 전극의 둘레 길이, e 는 전자의 전하, R_f 는 대상 태양전지의 광 반사율이다)

청구항 9

제 1항에 있어서,

상기 대상 태양전지는 상기 광흡수층과 금속 전극 사이에 위치하여, 상기 광흡수층과 접하여 위치하는 버퍼층; 을 더 포함하는 전하 운반자 수평 포집 거리 측정방법.

청구항 10

제 9항에 있어서,

상기 대상 태양전지에 조사되는 광은 상기 버퍼층의 에너지 밴드갭에 해당하는 파장의 광보다 장파장인 전하 운반자 수평 포집 거리 측정방법.

청구항 11

제 9항에 있어서,

상기 대상 태양전지에 조사되는 광은 550 내지 700nm 파장 대역의 광인 전하 운반자 수평 포집 거리 측정방법.

청구항 12

제 1항 내지 제 11항 중 어느 한 항에 따른 전하 운반자 수평 포집 거리 측정방법으로 전하 운반자 수평 포집 거리를 산출하는 단계;

네트워크 기반 투명 전극의 수평 포집 효율 및 광 투과율을 설정하는 단계;

하기 식 3을 이용하여, 설정된 광 투과율과 수평 포집 효율을 만족하는, 네트워크 기반 투명 전극의 빈 공간 크기를 산출하는 단계;

를 포함하는 태양전지용 투명 전극의 설계 방법.

(식 3)

$$\eta_l = \frac{4L_{lc}}{L} \left(\frac{2L_{lc}}{L} (\exp(-\frac{L}{2L_{lc}}) - 1) + 1 \right)$$

(식 3에서 η_l 은 수평 포집 효율, L_{lc} 는 전하 운반자 수평 포집 거리, L 은 네트워크 기반 투명 전극의 빈 공간 크기이다)

청구항 13

제 12항에 따라 설계된 박막 태양전지용 투명전극.

발명의 설명

기술 분야

[0001] 본 발명은 태양전지에서 전하 운반자 수평 포집 거리를 용이하게 측정하기 위한 측정 방법에 관한 것이다.

배경 기술

[0002] 태양전지에서 수광층에 구비되는 투명 전극으로, 인듐주석산화물(ITO), ZnO:Al, SnO₂ 같은 광투과도가 높고 낮은 면저항을 갖는 전도성 금속산화물들이 사용되고 있다. 그러나, 이들 전도성 금속산화물 기반 투명전극의 낮은 기계적 특성 및 높은 공정 비용등을 극복하기 위해, 최근 금속산화물 투명 전극을 은 나노와이어나 탄소 나노튜브, 금속 메쉬등과 같은 네트워크 기반 투명 전극으로 대체하고자 하는 연구가 활발히 수행되고 있다.

[0003] 도 1에 도시한 일 예와 같이, 금속산화물 기반 투명전극과 네트워크 기반 투명 전극간의 광 전하 수집 경로는 서로 상이하다. 금속산화물 기반 투명전극(TCO film)의 경우 전하 이동경로를 도시한 도 1(a)와 같이, 태양 전지에서 전하 운반자는 수직으로 이동하여 금속산화물 기반 투명전극(도 1(a)의 path 1)에 도달하고, 금속산화물 기반 투명전극을 따라 외부 회로(도 1(a)의 path 2)에 연결된 금속 그리드(metal grid)로 수평 이동한다. 반면, 네트워크 기반 투명전극(Network-TCE)의 경우 전하 이동경로를 도시한 도 1(b)와 같이, 광 생성된 전하 운반자는 태양전지의 전면에 도달 할 때까지 수직으로 이동(도 1(b)의 path 1a)한 다음, 수평(횡) 방향(도 1(b)의 path 1b)으로 이동하여 네트워크에 도달한 후, 네트워크를 따라 외부 회로에 연결된 금속 그리드(metal grid)로 이동(도 1(b)의 path 2)한다.

[0004] 도 1에 도시한 바와 같이, 금속산화물 기반 투명전극과 달리 네트워크 기반 투명전극의 경우 전하 운반자가 전극에 수집되기 위해서는 전하 운반자의 추가 수평(횡) 이동(도 1(b)의 path 1b)이 요구된다.

[0005] 이에, 네트워크 기반 투명전극이 생성된 전하 운반자의 손실 없이 효과적으로 광전류를 수집하기 위해서는, 전하 운반자가 전극에 수집되기 위해 이동하여야 하는 수평 이동 거리(즉 메쉬전극의 빈공간의 크기)가 전하 운반자의 포집거리보다 짧아야 한다.

[0006] 네트워크 기반 투명전극을 사용하고자 하는 경우, 손실 없이 광전류를 수집하기 위해서는 전하 운반자의 수평 포집 거리를 고려하여 네트워크 기반 투명전극을 설계하여야 한다.

[0007] 그러나, 전하 운반자의 수평 포집 거리를 직접적으로 측정할 수 있는 방법은 거의 알려진 바 없으며, 다만 소수 전하 운반자의 확산거리의 측정을 위하여, 미국 등록특허공보 9400306호에서는 확산거리의 측정을 위하여 외부 양자효율(EQE, external quantum efficiency)을 이용하여 전하 운반자 확산거리를 측정하는 방법에 대해 개시되어 있다. 그러나, 이러한 방법을 이용하는 경우, 전하 운반자 확산거리가 박막의 흡수층의 두께보다 클 경우 오차가 발생하고, 외부 양자효율의 측정 자체가 정밀한 장비를 필요로 하여 간편한 측정이 어려운 문제점이 있으며, 확산거리를 고려하여 포집거리를 미루어 유추할 수 있으나, 직접적인 전하 운반자 수평 포집 거리를 산출할 수는 없는 한계가 있다.

[0008] 이에, 전하 운반자의 손실 없이 효과적으로 광전류를 수집할 수 있는 네트워크 기반 투명 전극을 구현하기 위해서는 보다 간편한 방법으로, 높은 신뢰성으로 태양전지의 전하 운반자 수평 포집 거리를 측정하는 방법의 개발이 필요하다.

선행기술문헌

특허문헌

[0009] (특허문헌 0001) 미국 등록특허공보 9400306호

발명의 내용

해결하려는 과제

- [0010] 본 발명의 목적은 광을 조사하여 광전류를 측정하는 간단한 방법으로 전하 운반자 수평 포집 거리를 측정할 수 있는 방법을 제공하는 것이다.
- [0011] 본 발명의 다른 목적은 설계된 수집효율과 설계된 광투과율을 가져, 효과적으로 광전류를 수집할 수 있는 네트 워크 기반 투명 전극의 설계 방법을 제공하는 것이다.

과제의 해결 수단

- [0012] 본 발명에 따른 전하 운반자 수평 포집 거리 측정방법은 광흡수층; 광흡수층 상부에 위치하는 금속전극;을 포함 하는 대상 태양전지를 이용하며, 대상 태양전지에 광을 조사하여 광전류를 측정하는 단계; 및 광전류를 이용하여 전하 운반자 수평 포집 거리를 도출하는 단계;를 포함한다.
- [0013] 본 발명의 일 실시예에 따른 측정방법에 있어, 광흡수층에 대한 대상 태양전지에 조사되는 광의 흡수 깊이는 150nm 이내일 수 있다.
- [0014] 본 발명의 일 실시예에 따른 측정방법에 있어, 대상 태양전지에 조사되는 광은 단색(monochromatic) 광일 수 있다.
- [0015] 본 발명의 일 실시예에 따른 측정방법에 있어, 광전류는 대상 태양전지에 백색광을 조사한 후, 단색광을 조사하여 얻어지는 전류일 수 있다.
- [0016] 본 발명의 일 실시예에 따른 측정방법에 있어, 금속 전극은 원판, 타원형판 또는 다각판 형상일 수 있다.
- [0017] 본 발명의 일 실시예에 따른 측정방법에서, 금속 전극의 반경에 따른 광전류 값을 기반으로, 하기 식 1을 이용하여 전하 운반자 수평 포집 거리를 산출할 수 있다.
- [0018] (식 1)

$$i_p = 2\pi J_g L_{lc} (r + L_{lc})$$

- [0019]
- [0020] 식 1에서 i_p 는 측정되는 광전류, J_g 는 광전류 밀도, L_{lc} 는 전하 운반자 수평 포집 거리, r 은 금속 전극의 반경이다.
- [0021] 본 발명의 일 실시예에 따른 측정방법에서, 광전류 측정 단계는 금속 전극의 반경을 달리하여 광전류를 측정하는 단계를 포함할 수 있다.
- [0022] 본 발명의 일 실시예에 따른 측정방법에 있어, 전하 운반자 수평 포집 거리는 하기 식 2에 의해 도출될 수 있다.
- [0023] (식 2)

$$L_{lc} = \frac{(\frac{hc}{\lambda})(\frac{i_p}{I_0 L_{peri}})}{e(1 - R_f)}$$

- [0024]
- [0025] 관계식 2에서, L_{lc} 는 전하 운반자 수평 포집 거리, h 는 플랑크 상수, c 는 광속, λ 는 조사되는 광의 파장, i_p 는 측정된 광전류, I_0 는 조사되는 광의 강도, L_{peri} 는 금속 전극의 둘레 길이, e 는 전자의 전하, R_f 는 대상 태양전지의 광 반사율이다.
- [0026] 본 발명의 일 실시예에 따른 측정방법에서, 대상 태양전지는 광흡수층과 금속 전극 사이에 위치하여, 광흡수층과 접하여 위치하는 버퍼층;을 더 포함할 수 있다.
- [0027] 본 발명의 일 실시예에 따른 측정방법에 있어, 대상 태양전지에 조사되는 광은 버퍼층의 에너지 밴드갭에 해당하는 파장의 광보다 장파장일 수 있다.
- [0028] 본 발명의 일 실시예에 따른 측정방법에 있어, 대상 태양전지에 조사되는 광은 550 내지 700nm 파장 대역의 광

일 수 있다.

[0029] 본 발명은 상술한 전하 운반자 수평 포집 거리 측정방법을 이용한 투명 전극의 설계 방법을 포함한다.

[0030] 본 발명에 따른 투명 전극의 설계 방법은 상술한 전하 운반자 수평 포집 거리 측정방법으로 전하 운반자 수평 포집 거리를 산출하는 단계; 네트워크 기반 투명 전극의 수평 포집 효율 및 광 투과율을 설정하는 단계; 및 하기 식 3을 이용하여, 설정된 광 투과율과 수평 포집 효율을 만족하는 네트워크 기반 투명 전극의 빈 공간 크기를 산출하는 단계;를 포함한다.

[0031] (식 3)

$$\eta_l = \frac{4L_{lc}}{L} \left(\frac{2L_{lc}}{L} \left(\exp\left(-\frac{L}{2L_{lc}}\right) - 1 \right) + 1 \right)$$

[0032] 식 3에서 η_l 은 수평 포집 효율, L_{lc} 는 전하 운반자 수평 포집 거리, L 은 네트워크 기반 투명 전극의 빈 공간 크기이다.

[0033] 본 발명은 상술한 투명 전극의 설계 방법에 따라 설계된 박막 태양전지용 투명전극을 포함한다.

발명의 효과

[0034] 본 발명은 광을 조사하고 광전류를 측정하는 극히 간단하고 용이한 방법을 이용하여 전하 운반자 수평 포집 거리를 측정할 수 있는 장점이 있으며, 나아가 인가되는 광의 세기에 관계없이 높은 정확도로 전하 운반자 수평 포집 거리를 측정할 수 있다. 또한, 본 발명은 전하 운반자 수평 포집 거리를 이용하여 설계된 수평 포집 효율과 설계된 광투과율을 갖는 네트워크 기반 투명 전극을 설계할 수 있는 장점이 있다.

도면의 간단한 설명

[0035] 도 1은 금속산화물 기반 투명 전극이 구비된 태양전지(도 1(a))와 네트워크 기반 투명 전극이 구비된 태양전지(도 1(b))에서의 광 생성 전하 운반자의 수집 경로(이동 경로)를 도시한 도면이다.

도 2는 본 발명의 일 실시예에 따른 측정 방법에 사용되는 일 대상 태양전지의 단면도(도 2(a)) 및 상부 조감도(도 1(b))를 도시한 것이다.

도 3은 본 발명의 일 실시예에 따른 측정 방법에 사용되는 일 대상 태양전지의 광전류를 측정 도시한 도면이다.

도 4는 본 발명의 일 실시예에 따른 투명전극 설계 방법에서, 설정된 광투과율에서 수평 수집 효율과 전도성 네트워크 기반 투명전극을 형성하는 은 나노와이어의 직경 및 전도성 네트워크의 빈 공간 크기를 도시한 도면이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0036] 이하 본 발명에 따른 태양전지의 전하 운반자 수평 포집 거리 측정방법에 대해 상세히 설명한다. 이때, 사용되는 기술 용어 및 과학 용어에 있어서 다른 정의가 없다면, 이 발명이 속하는 기술 분야에서 통상의 지식을 가진 자가 통상적으로 이해하고 있는 의미를 가지며, 하기의 설명에서 본 발명의 요지를 불필요하게 흐릴 수 있는 공지 기능 및 구성에 대한 설명은 생략한다.

[0037] 본 발명은 태양전지에서 전하 운반자 수평 포집 거리 측정 방법에 관한 것이다. 본 발명에서 전하 운반자 수평 포집 거리는 전하 운반자 확산 거리에 상응하며, 이에 따라, 본 발명은 태양전지에서 전하 운반자 확산 거리 측정 방법을 포함할 수 있다.

[0038] 본 발명의 일 실시예에 의한 전하 운반자 수평 포집거리 측정방법에서, 대상 태양전지는 전하 운반자 수평 포집 거리의 측정을 위해 사용되는 태양전지를 의미할 수 있으며, 이와 함께, 전하 운반자 수평 포집거리를 측정하고자 하는 태양전지를 의미할 수 있다. 대상 태양전지는 광흡수층의 물질이 결정질 또는 비정질 실리콘인 실리콘 태양전지, 광흡수층의 물질이 화합물 반도체인 화합물 반도체 태양전지 또는 광흡수층의 물질이 유기 반도체 물질인 유기 태양전지일 수 있다. 이때, 화합물 반도체 태양전지는 III-V족 화합물 반도체 태양전지, II-III-VI족 화합물 반도체 태양전지 또는 II-VI족 화합물 반도체 태양전지를 포함할 수 있다. III-V족 화합물 반도체 태양전지는 GaAs 또는 InGaP 태양전지를 포함할 수 있고, II-III-VI족 화합물 반도체 태양전지는 CIS(Cu-In-S,Se)

또는 CIGS(Cu-In,Ga-S,Se) 태양전지를 포함할 수 있으며, II-VI족 태양전지는 CdTe 태양전지를 포함할 수 있다.

- [0040] 본 발명에 따른 전하 운반자 수평 포집 거리 측정 방법은 광흡수층; 광흡수층 상부에 위치하는 금속전극;을 포함하는 대상 태양전지를 이용하여, 대상 태양전지에 광을 조사하여 광전류를 측정하는 단계; 및 광전류를 이용하여 전하 운반자 수평 포집 거리를 도출하는 단계;를 포함한다.
- [0041] 본 발명은 측정 대상이 되는 대상 태양전지에 광을 조사하여 전류를 측정하는 극히 간단하고 용이한 방법으로 전하 운반자(소수 운반자)의 수평 포집거리, 즉, 전하 운반자의 확산거리를 정확하게 측정할 수 있는 장점이 있다.
- [0042] 구체적으로, 종래 전하 운반자 확산거리의 측정방법은 외부양자효율(EQE, external quantum efficiency)을 이용하여 측정하는 것이 통상적이었다. 그러나, 외부양자효율의 측정은 고도로 전문적인 측정장비를 이용하여야 하므로 측정에 어려움이 있으며, 또한 이러한 외부 양자효율을 이용하여 전하 운반자 확산거리를 측정하는 경우, 조사되는 빛의 세기가 0.1 내지 1 mW/cm²으로, 실제 태양전지 동작조건과 매우 상이하며, 측정되는 전하 운반자 확산거리의 길이가 박막의 두께보다 클 경우, 측정값의 오차가 발생하는 문제가 있으며, 외부양자효율 변화가 큰 파장대에서만 측정이 가능한 문제점이 있다.
- [0043] 그러나, 본 발명의 방법을 이용하여 전하 운반자 수평 포집 거리(확산거리)를 측정하는 경우, 외부양자효율의 측정을 필요로 하지 않으며, 대상 태양전지에 광을 조사하고 전류를 측정하는 간단한 방법으로 높은 정확도로 전하 운반자 확산거리를 측정할 수 있는 장점이 있다.
- [0044] 대상 태양전지에 조사되는 광은 광을 흡수하여 광전자와 광정공을 생성하는 광흡수층에 대한 조사되는 광의 흡수 깊이는 150nm, 보다 좋게는 100nm 이내인 것이 좋다. 즉, 광흡수층에서 광의 흡수 깊이가 150nm, 보다 좋게는 100nm 이내인 광이 조사되는 것이 좋다. 대상 태양전지에 조사되는 광의 흡수 깊이는 광이 흡수되기 전에 얼마나 깊숙이 광이 흡수체로 침투하는지를 의미하며, 동일한 광흡수체(광흡수층 물질)라도 광의 파장에 따라 흡수 깊이가 달라진다. 알려진 바와 같이, 흡수 깊이는 흡수 계수의 역수(α^{-1})로 주어지며, 조사되는 광의 강도가 약 36%(1/e)로 감소되는 거리를 의미한다.
- [0045] 조사되는 광의 흡수 깊이가 150nm, 보다 좋게는 100nm 이내인 경우, 광흡수층의 내부가 아닌 얇은 표면 영역(수광면측의 표면영역)에 국한되어 광전하가 생성될 수 있다. 이러한 흡수 깊이에서, 광 전하 캐리어의 수직(광흡수층의 두께 방향) 이동은 무시될 수 있으며 광 전하 캐리어의 수평(광흡수층의 표면에 평행한 방향)이동에 의한 금속 전극으로의 수집에 의해 광 전류가 생성될 수 있다.
- [0046] 또한, 조사되는 광은 단색광인 것이 좋다. 조사되는 광이 단색광인 경우 보다 얇은 광흡수층 표면 영역에 국한되어 광전하를 생성할 수 있어 유리하며, 또한, 전류밀도를 산출할 수 있어 유리하다. 이때, 광 스펙트럼(광 강도-파장 스펙트럼)에서 단색광의 반치폭(FWHM)은 100nm, 구체적으로 50nm이하일 수 있으나 반드시 이에 한정되는 것은 아니다.
- [0047] 본 발명의 측정 방법에서, 조사되는 광의 강도에 따라 산출되는 전하 운반자 수평거리의 정확도가 달라지지 않음에 따라, 대상 태양전지에 조사되는 광의 강도는 광전류 측정에 적절한 강도이면 무방하다. 실질적인 일 예로, 조사되는 광의 강도는 10 내지 200W/m² 수준일 수 있으나, 이에 한정되지 않는다.
- [0048] 본 발명의 일 실시예에 따른 측정방법에 있어, 광전류는 대상 태양전지에 백색광을 조사한 후, 백색광의 조사를 멈추고 단색광을 조사하여 얻어지는 전류일 수 있다.
- [0049] 대상 태양전지에 백색광이 조사되는 경우, 고에너지 포톤에 의해 광전자-정공 쌍이 생성될 수 있으며, 이러한 광전하들은 광흡수층 계면에 존재하는 결함을 중화시킬 수 있다. 이러한 결함 중화 작용에 의해 대상 태양전지에 백색광을 조사하는 경우 점진적인 광전류의 증가가 발생하며 일정 시간 후 광전류가 일정한 값으로 포화되는 경향을 나타낸다.
- [0050] 태양전지가 정상적으로 동작하는 조건은 광흡수층 계면에 존재하는 결함이 중화된 상태임에 따라, 상술한 바와 같이, 백색광 조사 후 단색광을 조사하여 전하 운반자의 수평 포집거리 측정에 사용되는 광전류(수평 광전류)를 측정함으로써, 실 태양전지 동작 조건에서의 수평 포집거리를 보다 정확하게 산출할 수 있어 유리하다.
- [0051] 조사되는 백색광의 강도는 태양전지의 일반적인 동작시 조사되는 태양광의 강도를 고려하여 이와 유사한 정도면 무방하다. 일 예로, 조사되는 백색광의 강도는 0.8 내지 1.2 sun일 수 있으나, 이에 한정되는 것은 아니다.

- [0052] 금속 전극은 금속 전극층에서 광흡수층쪽으로 상부 조감한 투사 이미지(projection image) 상 금속 전극이 광흡수층을 모두 덮지 않고 일부만을 덮는 판 형상이면 어떠한 형상이든 무방하다. 구체적인 일 예로, 금속 전극은 원판, 타원형판 또는 다각(삼각 내지 십이각)판 형상일 수 있다. 이때, 금속 전극이 원형이 아닌 경우, 금속 전극의 크기나 반지름은 동일 면적의 원으로 환산한 경우의 크기나 반지름을 의미할 수 있음은 물론이다.
- [0053] 후술하는 바와 같이, 금속 전극이 수 마이크로미터 오더의 매우 작은 크기라도 금속 전극의 크기를 변경시켜 금속 전극의 크기에 따라 광전류를 측정함으로써 수평 포집 거리를 측정할 수 있음에 따라, 안정적인 전류 이동이 담보되는 한 금속 전극의 크기는 크게 제한되지 않는다.
- [0054] 다만, 후술하는 바와 같이, 금속 전극 형성의 용이성 및 단일한 광조사와 광전류 측정에 의해 수평 포집 거리를 산출하고자 하는 경우, 금속 전극의 반지름은 100 μm 이상, 구체적으로 금속전극의 반지름이 100 내지 3000 μm , 보다 구체적으로 500 내지 3000 μm 이상인 것이 유리하다.
- [0055] 금속전극은 광 불투과성이며, 전도성을 가지는 금속인 경우 제한없이 이용 가능하다. 구체적이고 비한정적인 일 예로, 금속전극은 Al, Zn, Ti, Hf, Mg, Cu, Zr, Ca, Li, Sr, Ba, Sc, Y, Nb, Cr, Fe, Ru, Co, Rh, V, Ir, Ni, Pd, Pt, Ag, Cd, B, Ga, Mo, W, Mn, In, Ge, Sn, Sb 및 Bi에서 선택되는 하나 또는 둘 이상을 포함할 수 있다.
- [0056] 이하, 광흡수층과 전극(수광면에 위치하는 수광전극) 사이에 다른 이종 물질의 층인 버퍼층이 구비되는 화합물 반도체 태양전지 및 명확한 이해를 위해 금속 전극이 원판 형상인 경우를 기반으로 본 발명을 상술한다. 그러나, 광흡수층과 전극 사이 이종 물질의 층이 구비되는 경우, 후술하는 광조사 조건이 보다 유리할 뿐, 후술하는 바와 동일 내지 유사한 방법으로 전하 운반자 수평 포집거리의 측정이 이루어질 수 있음에 따라, 본 발명에서 대상 태양전지가 화합물 반도체 태양전지로 제한되는 것은 아니다. 또한, 금속 전극이 원판 형상이 아닌 경우에도 원판의 둘레 길이 대신 금속 전극의 둘레 길이에 의해 동일하게 전하 운반자 수평 포집 거리가 산출됨에 따라, 본 발명에서 금속 전극의 형상이 원판 형상으로 한정되는 것은 아니다.
- [0057] 구체적으로, 대상 태양전지에 조사되는 광은 버퍼층의 에너지 밴드갭에 해당하는 파장의 광보다 장파장일 수 있다. 일 예로, 버퍼층의 밴드갭 에너지가 $E_g1(\text{eV})$ 인 경우, $E_g1(\text{eV})$ 에 해당하는 파장 $\lambda_1=hc/E_g1$ (h =프랑크 상수, c 광속)=1240($\text{eV} \cdot \text{nm}$)/ $E_g1(\text{eV})$ 이며, 조사되는 광의 파장인 λ_2 는 λ_1 보다 장파장인 것이 좋다. 즉, $\lambda_1 < \lambda_2$ 인 것이 좋다. 이러한 조건의 광 조사는 버퍼층에 의해 전하 캐리어가 생성되는 것을 원천적으로 방지할 수 있어 유리하다.
- [0058] 화합물 반도체인 광흡수층; 광흡수층 상에 위치하는 버퍼층; 및 버퍼층 상에 위치하는 금속전극;을 포함하는 대상 태양전지의 경우, 상술한 광조사 조건과 함께, 버퍼층에서 흡수되지 않는 파장의 광이 조사되는 것이 좋다.
- [0059] 구체적으로, 대상 태양전지에 조사되는 광은 버퍼층의 에너지 밴드갭에 해당하는 파장의 광보다 장파장일 수 있다. 일 예로, 버퍼층의 밴드갭 에너지가 $E_g1(\text{eV})$ 인 경우, $E_g1(\text{eV})$ 에 해당하는 파장 $\lambda_1=hc/E_g1$ (h =프랑크 상수, c 광속)=1240($\text{eV} \cdot \text{nm}$)/ $E_g1(\text{eV})$ 이며, 조사되는 광의 파장인 λ_2 는 λ_1 보다 장파장인 것이 좋다. 즉, $\lambda_1 < \lambda_2$ 인 것이 좋다. 이러한 조건의 광 조사는 버퍼층에 의해 전하 캐리어가 생성되는 것을 원천적으로 방지할 수 있어 유리하다.
- [0060] 버퍼층에 의한 광흡수가 방지되며 광흡수 깊이가 150nm, 보다 좋게는 100nm 이내인 조사광의 실질적인 일 예로, 대상 태양전지가 화합물 반도체 태양전지인 경우, 조사되는 광의 파장은 550 내지 700nm, 구체적으로는 550 내지 650nm일 수 있으나, 본 발명이 이러한 구체 파장 조건에 한정되는 것은 아니다.
- [0061] 또한, 버퍼층이 구비되는 대상 태양전지에서 전하 캐리어 수평 포집 거리를 측정하고자 하는 경우, 대상 태양전지에 백색광이 조사된 후, 단색광이 조사되는 것이 매우 유리하다. 이는, 고에너지 포톤은 버퍼층에서 광전자-정공 쌍을 생성하고, 이러한 광전하들은 광흡수층과 버퍼층의 계면 뿐만 아니라 버퍼층에 존재하는 결함을 중화시킬 수 있다. 이에, 백색광 조사에 의해 전하 캐리어 수평 포집 거리 측정 시 버퍼층 자체와 계면 각각에 존재하는 결함에 의한 영향을 매우 효과적으로 배제할 수 있어 유리하다.
- [0062] 도 2는 전하 운반자의 수평 포집거리 측정에 사용되는 대상 태양전지의 일 예를 도시한 도면으로, 단면도(도 2(a)) 및 상부 조감도(도 2(b))를 도시한 도면이다. 이때, 도 2에서 검은색 점은 광에 의해 생성된 광 전하 캐리어를 의미한다.
- [0063] 도 2에 도시한 일 예와 같이, 대상 태양전지는 하부 전극(100), 광흡수층(200), 버퍼층(300) 및 원판 형상의 금속전극(400)을 포함할 수 있으며, 광흡수층(200)과 버퍼층(300), 및 버퍼층(300)과 금속전극(400, 반경= r)은 서로 접하여 위치할 수 있다.

[0064] 도 2에서 측정되는 광전류(i_p)는 하기 식 4로 나타낼 수 있다.

[0065] (식 4)

$$i_p = \int \eta_R di_g$$

[0067] 식 4에서 i_p 는 도 2(a)에 도시한 바와 같이, 광 조사에 의해 측정되는 광전류이며, di_g 는 도 2(b)에 도시한 바와 같이 일 반경이 R이며 폭이 dR인 링 영역에서 광에 의해 생성된 전류를 의미하며, η_R 은 하기 식 5에 따른다.

[0068] (식 5)

$$\eta_R = \exp\left(-\frac{R-r}{L_{lc}}\right)$$

[0070] 식 5에서 R은 도 2(b)에 도시한 임의의 링 영역에서 링의 반경이며, r은 금속 전극의 반경이며, L_{lc} 는 수평 포집 거리이다. 이에, R-r은 링 영역에서 생성된 전하 운반자의 수평 이동 거리에 상응한다.

[0071] di_g 를 전류 밀도(J_g)로 나타내면, $di_g = J_g 2\pi R dR$ 임에 따라, 이와 식 5를 식 4에 대입하고 금속 반경인 r에서 무한대 범위로 적분을 수행하면 식 1이 도출될 수 있다.

[0072] (식 1)

$$i_p = 2\pi J_g L_{lc} (r + L_{lc})$$

[0074] 식 1에서 i_p 는 측정되는 광전류, J_g 는 광전류 밀도, L_{lc} 는 전하 운반자 수평 포집 거리, r은 금속 전극의 반경이다.

[0075] 이에, 서로 상이한 반경을 갖는 둘 이상의 금속 전극에서 광전류를 측정하는 단순한 방법으로, 전하 운반자 수평 포집 거리(L_{lc})를 산출할 수 있다.

[0076] 식 1을 통해 알 수 있는 바와 같이, 본 발명의 일 실시예에 의한 측정방법은 금속전극의 크기, 광전류 및 전류 밀도만을 이용하여 전하 운반자 수평 포집거리를 측정할 수 있는 장점이 있다. 이러한 장점에 의해 외부 양자효율을 이용한 확산거리 측정 시 발생할 수 있는 오차 발생을 예방하며, 인가되는 빛의 세기에 관계없이 간단한 방법으로 전하 운반자 수평 포집거리를 측정할 수 있는 장점이 있다.

[0077] 나아가, 본 발명의 일 실시예에 따라, 식 1을 이용하여 전하 운반자 포집거리를 산출하는 경우, 금속 전극의 반지름을 달리하여 광전류를 여러번 측정함으로써, 광전류 밀도에 대한 어떠한 정보 없이도 전하 운반자 수평 포집 거리(L_{lc})를 산출할 수 있는 장점이 있다. 즉, 본 발명의 일 실시예에 의한 전하 운반자 수평 포집거리 측정 방법은 광전류 및 금속전극의 반지름만으로 전하 운반자 수평 포집거리를 도출할 수 있는 장점이 있다.

[0078] 이에, 본 발명의 일 실시예에 따른 측정 방법은 서로 상이한 크기(반경)를 갖는 금속전극이 구비된 둘 이상의 대상 태양전지 또는 일 버퍼층 상 서로 상이한 크기(반경)를 갖는 금속전극이 이격 형성된 대상 태양전지를 이용하여, 대상 태양전지에 광을 조사하여 금속전극의 크기(반경)별로 광전류를 측정하는 단계; 및 서로 상이한 크기를 갖는 금속전극에서 측정된 광전류 값을 기반으로, 식 1을 이용하여 전하 운반자 수평 포집 거리를 산출하는 단계를 포함할 수 있다.

[0079] (식 1)

$$i_p = 2\pi J_g L_{lc} (r + L_{lc})$$

[0081] 식 1에서 i_p 는 측정되는 광전류, J_g 는 광전류 밀도, L_{lc} 는 전하 운반자 수평 포집 거리, r은 금속 전극의 반경이다.

[0082] 이때, 대상 태양전지가 일 버퍼층 상 서로 상이한 크기(반경)를 갖는 금속전극이 이격 형성된 태양전지인 경우,

서로 상이한 크기를 갖는 둘 이상의 금속전극은 다른 금속전극에 의해 일 금속전극의 전기적 특성(일 예로 수집되는 광전류)이 영향을 받지 않을 수 있는 거리로 이격된 상태일 수 있음은 물론이다. 구체적이며 비 한정적인 일 예로, 인접하는 두 금속전극간의 거리는 수 내지 수십 센티미터 오더일 수 있다.

[0083] 또한, 본 발명의 일 실시예에 따른 전하 운반자 수평 포집거리 측정방법에서, 금속전극의 반지름이 $100\ \mu\text{m}$ 이상인 경우, 식 1의 $L_{lc} \ll r$ 에 따라, 전하 운반자 수평 포집거리는 식 6로 도출될 수 있다. 즉, 금속전극의 반지름이 $100\ \mu\text{m}$ 이상인 경우, 전하 운반자 수평 포집거리는 식 6로 도출될 수 있다.

[0084] (식 6)

$$L_{lc} = \frac{\frac{I_p}{J_g}}{L_{peri}}$$

[0086] 이때, 식 6에서 L_{peri} 는 금속 전극의 둘레 길이이다.

[0087] 즉, 본 발명의 일 실시예에 의한 전하 운반자 수평 포집거리 측정방법에서 금속전극의 크기가 $100\ \mu\text{m}$ 이상으로, 일정 수준 이상 큰 경우 y축을 광전류로 하고, x축을 금속전극의 반지름으로 한 1차 함수의 기울기를 이용하여, 전하 운반자 확산거리를 측정할 수 있는 장점이 있다.

[0088] 태양전지에 조사되는 광이 단색광인 경우, 전류밀도(J_g)는 하기 식 7에 따른다.

[0089] (식 7)

$$J_g = \frac{eI_{ab}}{\frac{hc}{\lambda}}$$

[0091] 식 7에서, J_g 는 전류밀도, e 는 전자 전하, I_{ab} 는 광흡수층에 흡수되는 광의 강도, h 는 플랑크 상수, c 는 광속, λ 는 조사되는 광의 파장이다.

[0092] 광흡수층에 흡수되는 광의 강도인 I_{ab} 는 식 8에 따름에 따라, 식 6은 하기 식 2로 도출될 수 있다.

[0093] (식 8)

$$I_{ab} = I_o(1 - R_f)$$

[0095] 식 8에서 I_{ab} 는 광흡수층에 흡수되는 광의 강도, I_o 는 대상 태양전지에 조사되는 광의 강도, R_f 는 대상 태양전지의 광 반사율, 즉, 대상 태양전지에서 금속전극이 형성된 측인 수광면에서의 광반사율이다.

[0096] (식 2)

$$L_{lc} = \frac{(\frac{hc}{\lambda})(\frac{i_p}{I_o L_{peri}})}{e(1 - R_f)}$$

[0098] 식 2에서, L_{lc} 는 전하 운반자 수평 포집 거리, h 는 플랑크 상수, c 는 광속, λ 는 조사되는 광의 파장, i_p 는 측정된 광전류, I_o 는 조사되는 광의 강도, L_{peri} 는 금속 전극의 둘레 길이, e 는 전자의 전하, R_f 는 대상 태양전지의 광 반사율이다.

[0099] 식 2를 통해 알 수 있는 바와 같이, 본 발명의 일 실시예에 의한 측정방법은 금속전극의 크기와 광전류만을 이용하여 전하 운반자 수평 포집거리를 측정할 수 있는 장점이 있으며, 단일한 크기의 금속 전극이 구비된 대상 태양전지에 광을 조사하여 단지 1회로 광전류를 측정하는 단순하고 간단한 측정에 의해 전하 운반자 수평 포집

거리를 측정할 수 있는 장점이 있다.

- [0100] 화합물 반도체 태양전지인 경우, 광흡수층은 구리 및 12족 내지 14족에서 하나 또는 둘 이상 선택된 원소의 칼코젠화합물일 수 있다. 구체적으로, 화합물 반도체는 구리-인듐-칼코젠 화합물, 구리-인듐-갈륨-칼코젠 화합물 또는 구리-아연-주석-칼코젠 화합물을 포함할 수 있다. 보다 구체적으로, 화합물 반도체는 CIS(Cu-In-Se 또는 Cu-In-S), CIGS(Cu-In-Ga-Se 또는 Cu-In-Ga-S), CIGSS(Cu-In-Ga-Se-S), CZTS(Cu-Zn-Sn-Se 또는 Cu-Zn-Sn-S) 또는 CZTSS(Cu-Zn-Sn-Se-S)일 수 있다. 보다 더 구체적으로, 화합물 반도체는 $\text{CuIn}_x\text{Ga}_{1-x}\text{Se}_2$ ($0 < x < 1$ 인 실수), $\text{CuIn}_x\text{Ga}_{1-x}\text{S}_2$ ($0 < x < 1$ 인 실수), $\text{CuIn}_x\text{Ga}_{1-x}(\text{Se}_y\text{S}_{1-y})_2$ ($0 < x < 1$ 인 실수, $0 < y < 1$ 인 실수), $\text{Cu}_2\text{Zn}_x\text{Sn}_{1-x}\text{Se}_4$ ($0 < x < 1$ 인 실수), $\text{Cu}_2\text{Zn}_x\text{Sn}_{1-x}\text{S}_4$ ($0 < x < 1$ 인 실수) 또는 $\text{Cu}_2\text{Zn}_x\text{Sn}_{1-x}(\text{Se}_y\text{S}_{1-y})_4$ ($0 < x < 1$ 인 실수, $0 < y < 1$ 인 실수)일 수 있으나, 이에 한정되는 것은 아니며, 통상적인 화합물 반도체 기반 태양전지에서 사용되는 광흡수층으로 칼코젠화합물이면 족하다.
- [0101] 광흡수층의 두께는 통상적인 화합물 반도체 태양전지에서 사용되는 두께이면 족하며, 구체적이고 비 한정적인 일 예로, 1 내지 $5\mu\text{m}$ 를 들 수 있으나, 본 발명이 광흡수층의 두께에 의해 한정될 수 없음은 물론이다.
- [0102] 광흡수층 상부에 구비되는 버퍼층은 광흡수층과 빌트인 포텐셜(p-n 정션, 공핍층)을 형성하여, 선택적이며 자발적으로 광 전자가 광흡수층으로부터 버퍼층으로 이동할 수 있으며, 광흡수층을 이루는 화합물 반도체의 격자 상수와 유사한 격자 상수를 가져 고품질의 계면을 형성할 수 있는 물질이면 사용 가능하다. 구체적인 일 예로, 화합물 반도체가 구리 및 12족 내지 14족에서 하나 또는 둘 이상 선택된 원소의 칼코젠화합물인 경우, 버퍼층은 종래의 화합물 반도체 태양전지에서 버퍼층으로 사용되는 버퍼 물질을 포함할 수 있다.
- [0103] 상세하게, 버퍼층은 n형 도펀트로 도핑되거나, n형 도펀트로 도핑되지 않은, ZnS , CdS , $\text{Zn}_x\text{Cd}_{1-x}\text{S}$ ($0 < x < 1$ 인 실수), In_2S_3 , SnS_2 , CdSe 및 ZnSe 에서 하나 또는 둘 이상 선택되는 물질일 수 있으나, 이에 한정되는 것은 아니다. 이하, n형 도펀트로 도핑된 경우를 엑스트린직(extrinsic)으로 칭하며, 도펀트로 도핑되지 않은 경우를 인트린직(intrinsic)으로 칭한다. 보다 상세하게, 버퍼층은 엑스트린직 ZnS , 엑스트린직 CdS , 엑스트린직 $\text{Zn}_x\text{Cd}_{1-x}\text{S}$ ($0 < x < 1$ 인 실수), 엑스트린직 In_2S_3 , 엑스트린직 SnS_2 , 엑스트린직 CdSe , 엑스트린직 ZnSe , 인트린직 ZnS , 인트린직 CdS , 인트린직 $\text{Zn}_x\text{Cd}_{1-x}\text{S}$ ($0 < x < 1$ 인 실수), 인트린직 In_2S_3 , 인트린직 SnS_2 , 인트린직 CdSe 및 인트린직 ZnSe 에서 하나 또는 둘 이상 선택될 수 있다.
- [0104] 이때, 버퍼층이 n형 도펀트를 함유하는 경우(엑스트린직 반도체 물질을 함유하는 경우), 이는 버퍼층의 적어도 일부 영역이 n형 도펀트로 도핑된 것을 의미한다. 버퍼층이 n형 도펀트로 도핑된 경우, 버퍼층의 광흡수층과 접하는 면으로부터 그 대향면으로의 방향인 두께 방향으로 n형 도펀트의 농도가 변화될 수 있다. 상세하게, 버퍼층은 광흡수층과 접하는 면으로부터 그 대향면으로의 방향인 두께 방향으로 n형 도펀트의 농도가 연속적 또는 불연속적으로 증가할 수 있다. 이때, 불연속적 증가는, n형 도펀트로 미 도핑된 인트린직 영역 상부에 n형 도펀트로 도핑된 엑스트린직 영역이 위치하는 구조 또한 포함하며, 엑스트린직 영역의 n형 도펀트의 도핑 프로파일(두께 방향으로의 도핑 프로파일)이 연속적 또는 불연속적으로 증가할 수 있음은 물론이다. 인트린직 영역은 인트린직 ZnS , 인트린직 CdS , 인트린직 $\text{Zn}_x\text{Cd}_{1-x}\text{S}$ ($0 < x < 1$ 인 실수), 인트린직 In_2S_3 , 인트린직 SnS_2 , 인트린직 CdSe 및 인트린직 ZnSe 에서 하나 또는 둘 이상 선택된 물질을 포함할 수 있으며, 엑스트린직 영역은 엑스트린직 ZnS , 엑스트린직 CdS , 엑스트린직 $\text{Zn}_x\text{Cd}_{1-x}\text{S}$ ($0 < x < 1$ 인 실수), 엑스트린직 In_2S_3 , 엑스트린직 SnS_2 , 엑스트린직 CdSe 및 엑스트린직 ZnSe 에서 하나 또는 둘 이상 선택된 물질을 포함할 수 있다. 이때, 버퍼층이 인트린직 영역과 엑스트린직 영역이 두께 방향으로 순차적으로 형성된 구조이거나, n형 도펀트가 두께 방향으로(광흡수층에서 전면 전극 방향으로) 연속적 또는 불연속적으로 증가하는 프로파일을 가질 수 있다. 이때 n형 도펀트는 Al, Ga, B, Sn, Sb, F, Cl, Mn, Co, Ni, Fe, Ti, Mo, Nb, P, O, In, Cr 및 Zn에서 하나 또는 둘 이상 선택되는 원소, 보다 구체적으로 Ga, Al, B In, F, Cr 및 Zn에서 하나 또는 둘 이상 선택되는 원소를 들 수 있다.
- [0105] 버퍼층이 n형 도펀트를 함유하며, n형 도펀트가 버퍼층의 두께 방향으로 연속적 또는 불연속적으로 증가하는 농도 프로파일을 가짐으로써, 광흡수층과 버퍼층 간에 안정적이고 넓은 공핍층이 형성될 수 있어 효과적으로 광전자를 분리 및 이동시킬 수 있다.
- [0106] 버퍼층의 두께는 통상적인 화합물 반도체 태양전지에서 사용되는 두께이면 족하며, 구체적이고 비 한정적인 일 예로, 10 내지 100nm 를 들 수 있으나, 본 발명이 버퍼층의 두께에 의해 한정될 수 없음은 물론이다.
- [0107] 대상 태양전지는 광흡수층의 하부에 형성된 후면전극 및 후면전극의 하부에 형성된 기제를 더 포함할 수 있으나, 이에 한정되는 것은 아니다.

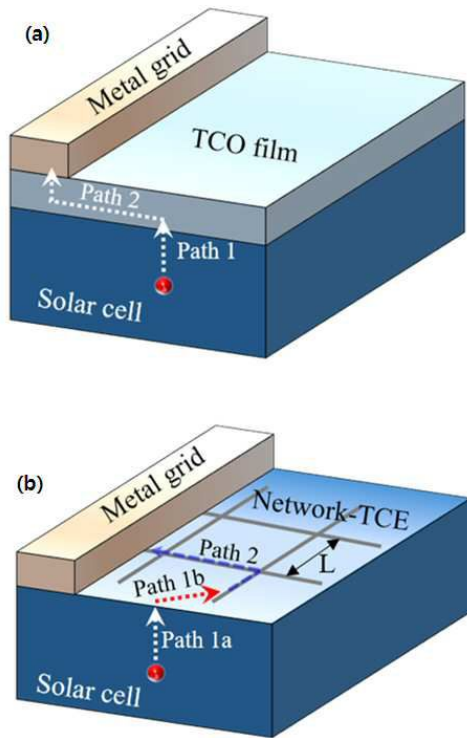
- [0108] 기재(는 지지체의 역할을 수행할 수 있으며, 리지드 기재 또는 플렉시블 기재를 포함할 수 있다. 리지드 기재의 구체적인 일 예로 소다라임 유리를 포함하는 유리 기재, 알루미늄과 같은 세라믹 기재, 스테인레스 스틸, 구리와 같은 금속 기재를 들 수 있다. 플렉시블 기재의 구체적인 일 예로, 폴리이미드와 같은 고분자 기재, 스테인레스 스틸 포일과 같은 금속 포일(metal foil)등을 들 수 있으나 본 발명이 기재의 물질에 의해 한정될 수 없음은 물론이다.
- [0109] 후면전극은 높은 전기전도도를 가지며, 광흡수층의 화합물 반도체와 오믹 접촉(ohmic contact)을 이룰 수 있으며, 칼코젠 분위기에서 안정한 물질이면 무방하며, 통상적인 화합물 반도체기반 태양전지에서 후면전극으로 사용되는 물질이면 족하다. 구체적인 후면전극의 일 예로, 몰리브덴(Mo)을 들 수 있으나, 본 발명이 후면전극(배면전극)의 물질에 의해 한정될 수 없음은 물론이다. 후면전극의 두께는 통상적인 화합물 반도체기반 태양전지에서 사용되는 두께이면 족하며, 구체적이고 비 한정적인 일 예로, 0.5 내지 2 μ m를 들 수 있으나, 본 발명이 후면전극(배면전극)의 두께에 의해 한정될 수 없음은 물론이다.
- [0110] 본 발명은 상술한 전하 운반자 수평 포집 거리 측정방법을 이용한 태양전지용 투명 전극, 구체적으로 태양전지용 네트워크 기반 투명 전극의 설계 방법을 포함한다. 네트워크 기반 투명 전극은 금속 메쉬형 투명 전극 또는 전도성 1차원 나노구조체 네트워크 기반 투명 전극을 의미할 수 있으며, 전도성 1차원 나노구조체 네트워크 기반 투명 전극은 전도성 1차원 나노구조체들이 서로 접점을 형성하며 연속적인 전류 이동 경로인 네트워크를 형성하는 투명 전극을 의미할 수 있다. 이때, 전도성 1차원 나노구조체는 탄소나노튜브, 은 나노와이어등과 같은 전도성 물질의 나노튜브나 나노와이어등을 들 수 있으나, 이에 한정되는 것은 아니다.
- [0111] 본 발명에 따른 투명전극의 설계 방법은 상술한 전하 운반자 수평 포집 거리 측정방법으로 전하 운반자 수평 포집 거리를 산출하는 단계; 네트워크 기반 투명 전극의 수평 포집 효율 및 광 투과율을 설정하는 단계; 및 하기 식 3을 이용하여 설정된 광 투과율과 수평 포집 효율을 만족하는 네트워크 기반 투명 전극의 빈 공간 크기를 산출하는 단계;를 포함한다.
- [0112] 이때, 네트워크 기반 투명 전극의 빈 공간 크기는, 금속 메쉬형 투명 전극의 경우 망의 크기를 의미할 수 있으며, 전도성 1차원 나노구조체 네트워크 기반 투명 전극의 경우 1차원 나노구조체들이 서로 접하며 형성되는 폐 곡선(최소 크기의 폐곡선 기준)을 기준하여 폐 곡선들을 동일 면적의 원들로 환산했을 때의 평균 크기(직경)을 의미할 수 있다.
- [0113] (식 3)
- [0114]
$$\eta_l = \frac{4L_{lc}}{L} \left(\frac{2L_{lc}}{L} \left(\exp\left(-\frac{L}{2L_{lc}}\right) - 1 \right) + 1 \right)$$
- [0115] 식 3에서 η_l 은 수평 포집 효율, L_{lc} 는 전하 운반자 수평 포집 거리, L 은 네트워크 기반 투명 전극의 빈 공간 크기이다.
- [0116] 나아가, 네트워크 기반 투명 전극이 금속 메쉬형 투명 전극인 경우, 하기 식 9를 이용하여 전도성 메쉬의 폭을 산출하는 단계가 더 수행될 수 있다.
- [0117] (식 9)
- [0118]
$$L = \frac{2D}{1-T}$$
- [0119] 식 9에서 D 는 투명전극(네트워크 기반 투명전극)에서 전도성 메쉬의 폭이며, T 는 투명전극의 광투과율이다.
- [0120] 본 발명에 따른 투명 전극의 설계 방법은, 태양전지의 구체 용도에 따라 적절히 수평 포집 효율과 투명전극의 광투과율을 설정하는 경우, 측정된 전하 운반자 수평 포집 거리만을 이용하여 설정된 수평 포집효율과 광투과율을 만족하는 투명 전극이 제조될 수 있는 투명 전극의 빈 공간 크기를 산출할 수 있는 장점이 있으며, 나아가, 전도성 메쉬의 폭 또한 산출할 수 있는 장점이 있다.
- [0121] 이때, 투명 전극 형성을 위해 도포되는 전도성 1차원 나노구조체의 밀도를 제어함으로써 설계된 투명 전극의 빈 공간 크기를 갖는 전도성 1차원 나노구조체 네트워크 기반 투명 전극을 제조할 수 있음은 물론이다.
- [0122] 도 3은 광 조사시 제조된 대상 태양전지의 광전류를 측정 도시한 도면이다. 상세하게, 대상 태양전지는 소다라

임 유리판 상 Mo 후면전극에 동시증착(co-evaporation)을 이용하여 2000nm 두께의 $\text{CuIn}_x\text{Ga}_{1-x}\text{S}_2$ 광흡수층을 형성하고, 광흡수층상에 60nm 두께의 CdS 버퍼층을 형성한 후, 전자빔 증착법을 이용하여 반경이 1mm인 원판 형태로 Al/Ni 금속 전극을 형성하여 제조하였다.

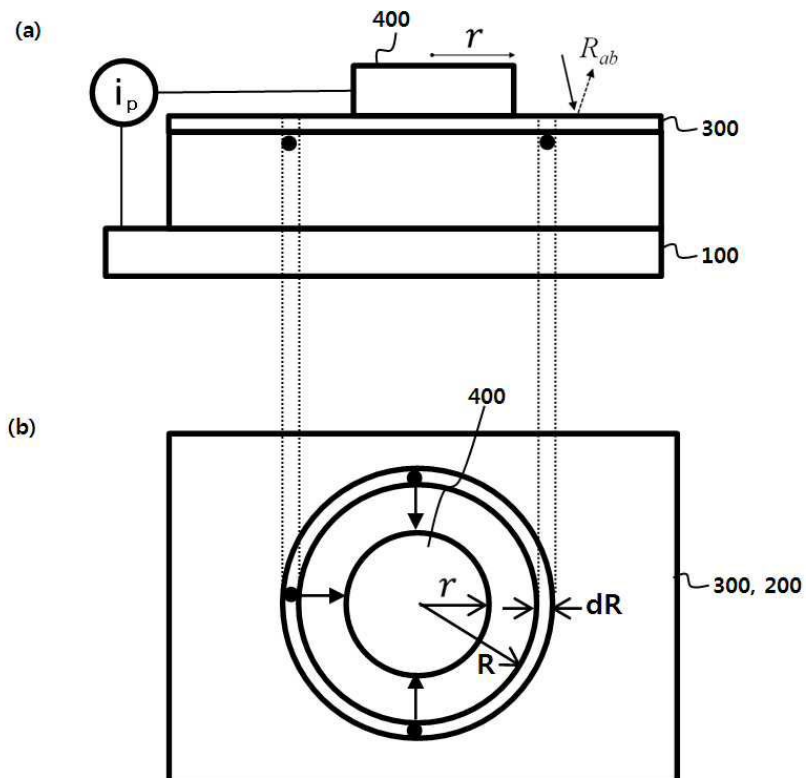
- [0123] 광 조사는 중심파장이 600nm의 단색광(FHWM=50nm)을 이용하여 수행되었다. 600nm 단색광의 제조된 대상 태양전지의 광흡수층에서의 흡수 깊이는 100nm 이내였다. 조사되는 단색광의 강도는 66.2W/m^2 이었으며, 제조된 대상 태양전지에 대한 단색광(600nm)의 R_f 는 0.09였다. 도 3의 광 조사시, 1sun 백색광을 600nm 밴드패스필터(FHWM=50nm)에 통과시켜 600nm 단색광을 생성 및 조사한 것이다.
- [0124] 도 3의 광 전류는 600nm 단색광 조사 후, 백색광(1sun)을 조사하여 광전류가 포화될 때 백색광의 조사를 멈추고 다시 600nm 단색광을 조사하여 측정된 광전류이다.
- [0125] 도 3에서 알 수 있듯이 600nm 단색광 조사에 $6.7 \times 10^{-7}\text{A}$ 광전류가 측정되었으며, 600nm 단색광 조사를 멈추고, 백색광이 조사되는 즉시 광전류가 $1.8 \times 10^{-5}\text{A}$ 로 증가하였으며 백색광 조사가 계속됨에 따라 광전류가 점진적으로 증가하다, 15분의 백색광 조사 시점에서 광전류가 $2.5 \times 10^{-5}\text{A}$ 로 포화되는 것을 알 수 있다. 백색광 조사에 의한 광전류 포화가 이루어진 후, 다시 백색광의 조사를 멈추고 600nm 단색광을 조사하였으며, 백색광에 의해 결합 중성화가 이루어진 후에 측정된 600nm 단색광 조사에 의한 광전류는 $4.8 \times 10^{-6}\text{A}$ 이었다. $I_p=4.8 \times 10^{-6}\text{A}$, $\lambda=600\text{nm}$, $R_f=0.09$, $I_0=66.2\text{W/m}^2$, $r=1\text{mm}$ 의 값들을 식 2에 대입하여, 전하 운반자 수평 포집 거리를 산출한 결과, 전하 운반자 수평 포집 거리(L_{lc})는 $26.2\mu\text{m}$ 였다.
- [0126] 도 4는 은 나노와이어 네트워크 기반 투명 전극을 설계 대상 전극으로, 산출된 전하 운반자 수평 포집 거리와 식 3 및 식 4를 이용하여, 광투과율을 90%로 설계한 후, 수평 포집 효율(η_l)과 은 나노와이어의 직경 및 네트워크 기반 투명 전극의 빈 공간 크기의 관계를 도시한 도면이다.
- [0127] 도 4에서 알 수 있듯이, 네트워크 기반 투명 전극의 수평 포집 효율을 설정하는 경우, 설정된 수평 포집 효율과 설정된 투명도를 갖는 투명 전극이 제조되는 투명 전극의 빈 공간 크기나 은 나노와이어의 직경이 결정됨을 알 수 있다.
- [0128] 본 발명은 상술한 네트워크 기반 투명 전극의 설계 방법에 따라 설계된(제조된) 태양전지용 투명전극을 포함한다.
- [0129] 본 발명은 상술한 네트워크 기반 투명 전극의 설계 방법에 따라 제조된 투명전극을 포함하는 태양전지를 포함한다. 이때, 투명 전극이 구비된 태양전지는 상술한 대상 태양전지에서, 금속 전극 대신 본 발명의 설계방법에 따라 설계 및 제조된 박막 태양전지용 투명전극이 구비된 것일 수 있다.
- [0130] 이상과 같이 본 발명에서는 특정된 사항들과 한정된 실시예 및 도면에 의해 설명되었으나 이는 본 발명의 보다 전반적인 이해를 돕기 위해서 제공된 것일 뿐, 본 발명은 상기의 실시예에 한정되는 것은 아니며, 본 발명이 속하는 분야에서 통상의 지식을 가진 자라면 이러한 기재로부터 다양한 수정 및 변형이 가능하다.
- [0131] 따라서, 본 발명의 사상은 설명된 실시예에 국한되어 정해져서는 아니되며, 후술하는 특허청구범위뿐 아니라 이 특허청구범위와 균등하거나 등가적 변형이 있는 모든 것들은 본 발명 사상의 범주에 속한다고 할 것이다.

도면

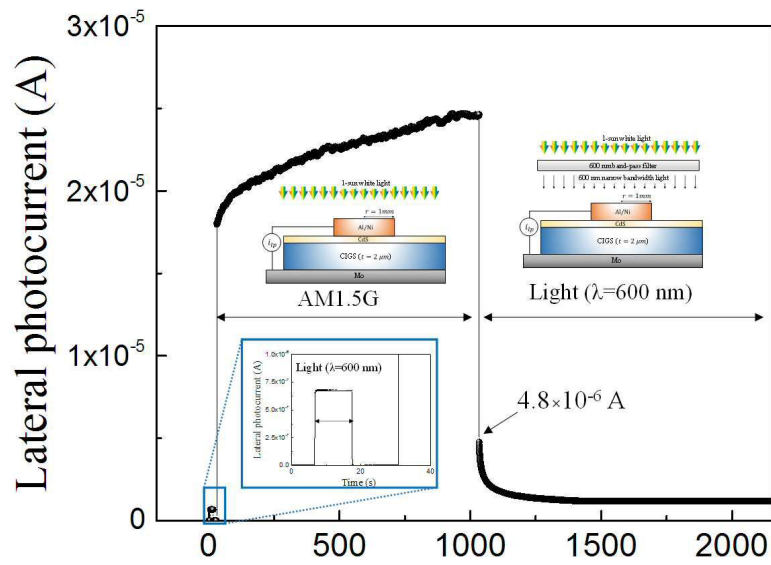
도면1



도면2



도면3



도면4

