(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2020년01월30일
(11) 등록번호 10-2071481
(24) 등록일자 2020년01월22일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
H01L 31/0224 (2006.01) *H01L 31/0376* (2006.01)
H01L 31/068 (2006.01) *H01L 31/0725* (2012.01)
H01L 31/18 (2006.01) *H02S 20/26* (2014.01)
(52) CPC특허분류
H01L 31/022491 (2013.01)
H01L 31/022483 (2013.01)
(21) 출원번호 10-2018-0093199
(22) 출원일자 2018년08월09일
심사청구일자 2018년08월09일
(56) 선행기술조사문헌
KR101784439 B1
KR101884643 B1
KR1020120044779 A*
KR1020180035057 A
*는 심사관에 의하여 인용된 문헌

(73) 특허권자
한국기계연구원
대전광역시 유성구 가정북로 156 (장동)
(72) 발명자
권정대
경상남도 창원시 성산구 창원대로1209번길 22, 211동 1203호
이지훈
경상남도 창원시 성산구 원이대로878번길 9, 103동 1603호
(뒷면에 계속)
(74) 대리인
이인행

전체 청구항 수 : 총 4 항 심사관 : 이규재

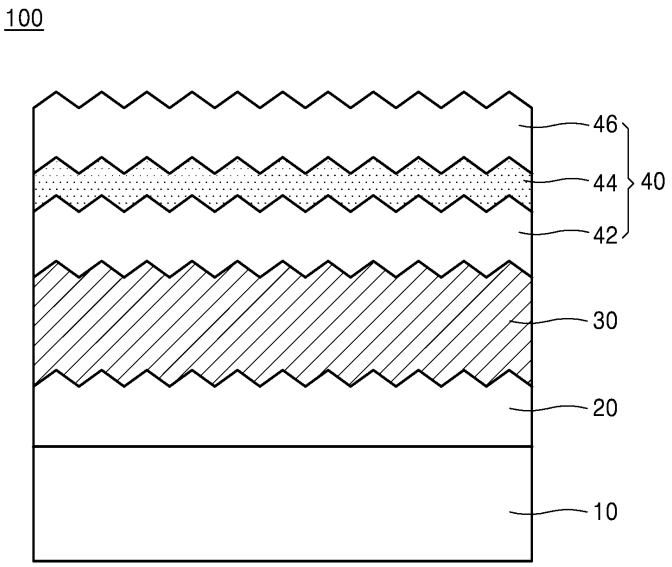
(54) 발명의 명칭 **산화은 투명 전극을 사용하여 개선된 투과성을 갖는 양면 수광형 태양전지 및 이의 제조방법**

(57) 요 약

본 발명의 일 관점에 따르면, 산화은 투명 전극을 사용하여 개선된 투과성을 갖는 양면 수광형 태양전지가 제공된다. 상기 산화은 투명 전극을 사용하여 개선된 투과성을 갖는 양면 수광형 태양전지는 광전변환층; 상기 광전변환층의 일면에 형성된 제 1 투명전극층; 및 상기 광전변환층의 타면에 형성된 제 2 투명전극층;을 포함하고,

(뒷면에 계속)

대 표 도 - 도1



상기 제 2 투명전극층은 산소가 도핑된 은(Ag)을 포함하며, 상기 제 2 투명전극층에 있어서, 은(Ag)의 X-선 회절 피크의 면적과, Ag_2O 및 AgO의 X-선 회절 피크의 면적을 이용하여 계산한 하기 수학식 1이 0.4 내지 6.8의 범위를 가질 수 있다.

(수학식 1)

(Ag_2O 피크의 면적 + AgO 피크의 면적) / Ag 피크의 면적

단, Ag_2O 피크의 면적, AgO 피크의 면적 및 Ag 피크의 면적은 각각 Ag_2O 의 (111)면, AgO의 (002)면 및 Ag의 (111)면의 X-선 회절 피크를 의미하며, 피크의 면적은 하기 수학식 2에 의해 정의된다.

(수학식 2)

피크의 면적 = 피크의 높이(P) × 각 조성 피크의 반가폭(W)

(52) CPC특허분류
H01L 31/0376 (2013.01)
H01L 31/0684 (2013.01)
H01L 31/0725 (2013.01)
H01L 31/18 (2013.01)
H02S 20/26 (2015.01)
Y02E 10/50 (2013.01)

(72) 발명자
송명관
울산광역시 울주군 언양읍 동부4길 1, 801호
임동찬
경상남도 창원시 의창구 북면 감계로 259, 309동 1701호
최승목
경상남도 창원시 의창구 북면 감계로 277, 104동502호
조현진
경상남도 창원시 성산구 대정로 99, 208동 1403호
김용훈
대전광역시 대덕구 계족산로 136, 510동 1802호

이 발명을 지원한 국가연구개발사업
과제고유번호 1415155761
부처명 산업통상자원부
연구관리전문기관 한국산업기술평가관리원
연구사업명 산업기술국제협력
연구과제명 300㎜ 급 플라즈마를 활용한 원자층 증착 및 에칭 장비개발
기 여 율 20/100
주관기관 (주)아이작리서치
연구기간 2017.12.01 ~ 2018.11.30
이 발명을 지원한 국가연구개발사업
과제고유번호 1415154032
부처명 산업통상자원부
연구관리전문기관 한국산업기술평가관리원
연구사업명 신재생에너지핵심기술개발
연구과제명 양면발전 효율 8.5 % 및 투과도 20%를 갖는 다양한 색상 구현이 가능한 박막 실리콘 기반 완전투광형 투명 태양전지 기술 개발
기 여 율 40/100
주관기관 한국전자통신연구원
연구기간 2017.10.01 ~ 2018.07.31
이 발명을 지원한 국가연구개발사업
과제고유번호 1415151969
부처명 산업통상자원부
연구관리전문기관 한국산업기술평가관리원
연구사업명 에너지수요관리핵심기술개발
연구과제명 융합형 스마트 윈도우 및 에너지 소비 기기 연동 시스템 개발
기 여 율 40/100
주관기관 성문전자(주)
연구기간 2018.01.01 ~ 2018.12.31

공지예외적용 : 있음

명 세 서

청구범위

청구항 1

광전변환층;

상기 광전변환층의 일면에 형성된 제 1 투명전극층; 및

상기 광전변환층의 타면에 형성된 제 2 투명전극층;을 포함하고,

상기 제 2 투명전극층은 산소가 도핑된 은(Ag)을 포함하며,

상기 제 2 투명전극층에 있어서, 은(Ag)의 X-선 회절 피크의 면적과, Ag_2O 및 AgO의 X-선 회절 피크의 면적을 이용하여 계산한 하기 수학식 1이 0.4 내지 6.8의 범위를 가지는,

양면 수광형 태양전지.

(수학식 1)

(Ag_2O 피크의 면적 + AgO 피크의 면적) / Ag 피크의 면적

단, Ag_2O 피크의 면적, AgO 피크의 면적 및 Ag 피크의 면적은 각각 Ag_2O 의 (111)면, AgO의 (002)면 및 Ag의 (111)면의 X-선 회절 피크를 의미하며, 피크의 면적은 하기 수학식 2에 의해 정의된다.

(수학식 2)

피크의 면적 = 피크의 높이(P) × 각 조성 피크의 반가폭(W)

청구항 2

제 1 항에 있어서,

상기 제 2 투명전극층은 산화물-금속-산화물(Oxide-Metal-Oxide, OMO) 적층구조를 갖는,

양면 수광형 태양전지.

청구항 3

삭제

청구항 4

제 1 항에 있어서,

상기 광전변환층은 P형 반도체층, I형 반도체층 및 N형 반도체층을 포함하고,

상기 P형 반도체층와 상기 N형 반도체층 중 하나는 상기 제 1 투명전극층 또는 상기 제 2 투명전극층과 접촉하는,

양면 수광형 태양전지.

청구항 5

제 4 항에 있어서,

상기 광전변환층은 수소화된 비정질 실리콘(a-Si:H) 박막층을 포함하는,

양면 수광형 태양전지.

청구항 6

삭제

청구항 7

삭제

청구항 8

삭제

청구항 9

삭제

발명의 설명

기 술 분 야

[0001] 본 발명은 양면 수광형 태양전지 및 이의 제조방법에 대한 것으로서, 더 상세하게는 BIPV(building-integrated photovoltaic) 시스템에 적용 가능하도록 산화은 투명 전극을 사용하여 개선된 투과성을 갖는 양면 수광형 태양전지 및 이의 제조방법에 관한 것이다.

배 경 기 술

[0002] BIPV(Building-Integrated Photovoltaic) 시스템은 주거 건물에 전력을 공급하며 환경 보호를 촉진하고 화석연료 에너지 사용을 줄이는 데 가장 유망한 건물 관련 기술 중 하나이다. 특히, 최근 건물의 주요 외관 구성 요소를 형성하기 때문에 BIPV 창의 광학적 및 열적 특성을 향상시키는 데 관심을 기울이고 있다. BIPV 창으로 사용하기 위한 대표적인 투명한 태양전지 모듈은 염료감응형 태양전지, 유기 태양전지 등이 있다. 그러나 이들 태양전지는 장기간 작동시 열악한 신뢰성과 관련된 문제를 극복해야하는 문제점이 있다.

[0003] 또한, 반투명 태양 전지의 성능을 향상시키기 위해서는 투명성이 높고 전도성이 우수한 전극이 필요하다. 가장 일반적으로 투명한 전도성 전극으로 사용되는 투명한 전도성 산화물(TCOs)은 전도도를 향상시키기 위해 어닐링(annealing) 공정을 거쳐 약 300℃ 이상의 온도에서 스퍼터링 방법을 사용하여 제조된다. 그러나, 비정질 실리콘 태양전지 모듈의 경우, 하부 실리콘을 열화시키고, 실리콘과 전면 접촉부 사이의 계면에서 바람직하지 않은 균열을 유도할 수 있다.

[0004] 최근, 탄소나노튜브, 그래핀 및 은(Ag) 나노와이어 등과 같은 새로운 전극 물질에 대한 개발이 진행중이다. 탄소 기반의 전극은 일반적으로 면저항(Rsq)이 다른 투명 전도성 전극보다 몇 배나 높으며, 은 나노와이어는 높은 투과율과 낮은 면저항을 갖지만, 은 재료 자체의 부식 문제로 인해 장기간 안정된 전기 전도성을 갖지 못한다.

발명의 내용

해결하려는 과제

[0005] 종래의 BIPV 시스템에 적용되는 태양전지 모듈은 장기간 작동시 열악한 신뢰성과 관련된 문제를 극복해야 하며, 투명성이 높고 전도성이 우수한 새로운 형태의 전극의 개발이 필요한 문제점이 있다.

[0006] 따라서, 본 발명은 상기와 같은 문제점을 포함하여 여러 문제점들을 해결하기 위한 것으로서, 산화은 투명 전극을 사용하여 개선된 투과성을 갖는 양면 수광형 태양전지 및 이의 제조방법을 제공하는 것을 목적으로 한다. 그러나 이러한 과제는 예시적인 것으로, 이에 의해 본 발명의 범위가 한정되는 것은 아니다.

과제의 해결 수단

[0007] 상기 과제를 해결하기 위한 본 발명의 일 관점에 따르면, 광전변환층; 상기 광전변환층의 일면에 형성된 제 1 투명전극층; 및 상기 광전변환층의 타면에 형성된 제 2 투명전극층;을 포함하고, 상기 제 2 투명전극층은 산소가 도핑된 은(Ag)을 포함하며, 상기 제 2 투명전극층에 있어서, 은(Ag)의 X-선 회절 피크의 면적과, Ag_2O 및 AgO의 X-선 회절 피크의 면적을 이용하여 계산한 하기 수학식 1이 0.4 내지 6.8의 범위를 가지는, 양면 수광형 태양전지가 제공된다.

[0008] (수학식 1)

[0009] (Ag_2O 피크의 면적 + AgO 피크의 면적) / Ag 피크의 면적

[0010] 단, Ag_2O 피크의 면적, AgO 피크의 면적 및 Ag 피크의 면적은 각각 Ag_2O 의 (111)면, AgO의 (002)면 및 Ag의 (111)면의 X-선 회절 피크를 의미하며, 피크의 면적은 하기 수학식 2에 의해 정의된다.

[0011] (수학식 2)

[0012] 피크의 면적 = 피크의 높이(P) × 각 조성 피크의 반가폭(W)

[0013] 또한, 본 발명의 일 실시예에 따르면, 상기 제 2 투명전극층은 산화물-금속-산화물(Oxide-Metal-Oxide, OMO) 적층구조를 가질 수 있다.

[0014] 또한, 본 발명의 일 실시예에 따르면, 상기 제 2 투명전극층은 알루미늄이 도핑된 산화아연(AZO)을 더 함유하며, 상기 산화물-금속-산화물 적층 구조는 AZO-AgOx-AZO 적층 구조일 수 있다.

[0015] 또한, 본 발명의 일 실시예에 따르면, 상기 광전변환층은 P형 반도체층, I형 반도체층 및 N형 반도체층을 포함하고, 상기 P형 반도체층와 상기 N형 반도체층 중 하나는 상기 제 1 투명전극층 또는 상기 제 2 투명전극층과 접촉할 수 있다.

[0016] 또한, 본 발명의 일 실시예에 따르면, 상기 광전변환층은 수소화된 비정질 실리콘(a-Si:H) 박막층을 포함할 수 있다.

[0017] 한편, 본 발명의 다른 관점에 따르면, 기판 상에 제 1 투명전극층을 형성하는 단계; 상기 제 1 투명전극층 상에 광전변환층을 형성하는 단계; 및 상기 광전변환층 상에 제 2 투명전극층을 형성하는 단계를 포함하는 양면 수광형 태양전지의 제조방법이 제공된다.

[0018] 또한, 본 발명의 일 실시예에 따르면, 상기 제 2 투명전극층을 형성하는 단계는, 챔버 내에 공정가스를 공급하고, 은(Ag) 타겟을 이용한 스퍼터링 방법으로 산소가 도핑된 은(Ag) 박막을 증착하는 단계를 포함하며, 상기 공정가스로 불활성가스 및 산소가스를 혼합한 혼합가스를 사용하되, 상기 공정가스 내 상기 산소가스의 분압은 5% 내지 20% 범위일 수 있다.

[0019] 또한, 본 발명의 일 실시예에 따르면, 상기 제 2 투명전극층을 형성하는 단계는, 알루미늄이 도핑된 산화아연(AZO) 타겟을 이용하여 상기 광전변환층 상에 제 1 AZO 박막을 형성하는 단계; 상기 은(Ag) 타겟을 이용하여 상기 제 1 AZO 박막 상에 상기 산소가 도핑된 은(Ag) 박막을 형성하는 단계; 및 상기 알루미늄이 도핑된 산화아연(AZO) 타겟을 이용하여 상기 산소가 도핑된 은(Ag) 박막 상에 제 2 AZO 박막을 형성하는 단계를 포함할 수 있다.

[0020] 또한, 본 발명의 일 실시예에 따르면, 상기 제 1 투명전극층을 형성하는 단계 이후에 상기 제 1 투명전극층의 표면을 텍스처링(texturing)하는 단계를 포함할 수 있다.

[0021] 또한, 본 발명의 일 실시예에 따르면, 상기 광전변환층을 형성하는 단계는, PECVD(plasma enhanced chemical vapor deposition)을 이용하여 수소화된 비정질 실리콘(a-Si:H) 박막층을 형성하는 단계를 포함할 수 있다.

발명의 효과

[0022] 상기한 바와 같이 이루어진 본 발명의 실시예에 따르면, 비독성이며, 대면적으로 제조가 가능하고, 장시간 가동시에도 신뢰성이 우수하고, 투과도 및 전기전도성이 우수한 산화은 투명 전극을 사용하여 개선된 투과성을 갖는 양면 수광형 태양전지의 제조방법을 제공할 수 있으며, 상기 제조방법에 의해 구현된 산화은 투명 전극을 사용하여 개선된 투과성을 갖는 양면 수광형 태양전지를 제공할 수 있다. 물론 이러한 효과에 의해 본 발명의 범위가 한정되는 것은 아니다.

도면의 간단한 설명

[0023] 도 1은 본 발명의 일 실시예에 따른 산화은 투명 전극을 사용하여 개선된 투과성을 갖는 양면 수광형 태양전지의 구조를 개략적으로 도해하는 도면이다.

도 2는 본 발명의 실험예에 따른 산화은 투명 전극을 사용하여 개선된 투과성을 갖는 양면 수광형 태양전지 샘플들의 전류-전압 특성을 분석한 그래프이다.

도 3은 본 발명의 실험예에 따른 산화은 투명 전극을 사용하여 개선된 투과성을 갖는 양면 수광형 태양전지 샘플들의 X선 회절 분석, 면저항 및 표면의 미세구조를 분석한 결과이다.

도 4는 본 발명의 실험예에 따른 산화은 투명 전극을 사용하여 개선된 투과성을 갖는 양면 수광형 태양전지 샘플들의 파장에 따른 반사율과 흡수율을 측정한 그래프이다.

도 5는 본 발명의 실험예에 따른 산화은 투명 전극을 사용하여 개선된 투과성을 갖는 양면 수광형 태양전지 샘플들의 파장에 따른 투과도 및 양자효율을 측정한 그래프이다.

도 6은 본 발명의 실험예에 따른 산화은 투명 전극을 사용하여 개선된 투과성을 갖는 양면 수광형 태양전지 샘플들의 양면투과시 전류-전압 특성 및 투과도를측정한 결과이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0024] 이하, 첨부된 도면을 참조하여 본 발명의 여러 실시예들을 상세히 설명하기로 한다. 본 발명의 실시예들은 당해 기술 분야에서 통상의 지식을 가진 자에게 본 발명을 더욱 완전하게 설명하기 위하여 제공되는 것이며, 하기 실시예는 여러 가지 다른 형태로 변형될 수 있으며, 본 발명의 범위가 하기 실시예에 한정되는 것은 아니다. 오히려 이들 실시예들은 본 개시를 더욱 충실하고 완전하게 하고, 당업자에게 본 발명의 사상을 완전하게 전달하기 위하여 제공되는 것이다.

[0025] 이하에서는, 본 발명이 속하는 기술분야에서 통상의 지식을 가진 자가 본 발명을 용이하게 실시할 수 있도록 하기 위하여, 본 발명의 바람직한 실시예들에 관하여 첨부된 도면을 참조하여 상세히 설명하기로 한다.

[0026] 먼저, 도 1을 참조하여 본 발명의 일 실시예에 따른 산화은 투명 전극을 사용하여 개선된 투과성을 갖는 양면 수광형 태양전지에 대하여 설명한다.

[0027] 도 1은 본 발명의 일 실시예에 따른 산화은 투명 전극을 사용하여 개선된 투과성을 갖는 양면 수광형 태양전지의 구조를 개략적으로 도해하는 도면이다.

[0028] 도 1을 참조하면, 본 발명의 일 실시예에 따른 산화은 투명 전극을 사용하여 개선된 투과성을 갖는 양면 수광형 태양전지(100)는 광전변환층(30), 광전변환층(30)의 일면에 형성된 제 1 투명전극층(20) 및 광전변환층(30)의 타면에 형성된 제 2 투명전극층(40)을 포함할 수 있다. 광전변환층(30)은 예를 들어, 수소화된 비정질 실리콘(a-Si:H) 박막층을 포함할 수 있다. 상기 수소화된 비정질 실리콘은 비독성 물질로서, 대면적으로 제조가 가능하고, 신뢰성이 우수한 이점이 있다.

[0029] 한편, 도면에 도시되지는 않았으나, 광전변환층(30)은 P형 반도체층, I형 반도체층 및 N형 반도체층을 포함할 수 있다. 예컨대, 수소화된 비정질 실리콘은 P형 또는 N형의 도전형 제어가 가능하다. 그러므로 상기 수소화된 비정질 실리콘을 P형과 N형으로 제조하여 PN 접합 구조를 형성할 수 있다. 그러나, 비정질 반도체이기 때문에 캐리어 이동도가 작고, 재결합 수명이 짧기 때문에 소수 캐리어의 확산 길이는 약 0.1㎛ 내지 1㎛이고, 확산만을 이용하는 PN 접합 구조에서는 충분한 광시전력효과를 기대할 수 없다.

[0030] 따라서, PN 접합 구조 사이에 약 0.5㎛ 두께의 I형 반도체층을 개재하여 PIN 접합 구조로 형성한다. 상기 I형 반도체층은 고저항을 가지며, I형 반도체층에 가해지는 내부전계에 의해 빛에 따라 생성된 전자와 정공을 빠르게 각각 P형 반도체층과 N형 반도체층으로 유입시킨다.

[0031] 또한, 수소화된 비정질 실리콘에서는 원자배열의 장거리 질서가 없으므로 광학천이시 파수보존이 필요 없다. 그러므로 간접천이형에서 파수보존을 위해서 포논의 도움이 필요한 결정질 실리콘 대비, 흡수단의 고에너지측에서 큰 흡수계수를 가지므로 약 0.5㎛의 두께정도로 얇은 광전변환층(30)을 형성할 수 있다.

[0032] 또한, 상기 P형 반도체층와 상기 N형 반도체층 중 하나는 제 1 투명전극층(20) 또는 제 2 투명전극층(40)과 접촉한다. 여기서, P형 반도체층과 접촉하는 투명전극층 및 N형 반도체층과 접촉하는 투명전극층의 종류는 제조과정에 따라 서로 달라진다. 예를 들면, P형 반도체층이 먼저 형성될 경우, 전면에 배치되는 제 1 투명전극층(20)에 P형 반도체층이 접촉되고, N형 반도체층은 제 2 투명전극층(40)에 접촉된다. 반면에 N형 반도체층이 먼저 형성될 경우, N형 반도체층이 제 1 투명전극층(20)에 접촉되고, P형 반도체층이 제 2 투명전극층(40)에 접촉된다.

[0033] 한편, 제 1 투명전극층(20)은 기판(10) 상에 형성된다. 여기서, 기판(10)은 투명한 재질이면 어떤 것을 사용해도 무방하며, 예를 들어, 유리(glass) 또는 폴리머(polymer) 재질을 사용할 수 있다. 제 1 투명전극층(20)은 예

를 들어, ITO(Indium Tin Oxide), FTO(Flourine doped Tin Oxide) 등과 같은 투명한 전도성 산화물을 사용할 수 있다. 제 1 투명전극층(20)으로서 상기 투명한 전도성 산화물을 사용하되, 제 1 투명전극층(20)이 구조적으로 단단한 재료일 경우, 즉, BIPV용으로서, 외부의 충격 등에 강한 재질일 경우, 기판(10)을 사용하지 않고, 제 1 투명전극층(20) 자체를 전극과 기판용도로 사용할 수도 있다.

[0034] 한편, 제 2 투명전극층(40)은 산화물-금속-산화물(Oxide-Metal-Oxide, 이하 OMO) 적층구조를 가지며, 제 1 산화물층(42), 금속층(44) 및 제 2 산화물층(46)이 순서대로 적층된 형태일 수 있다. 투명한 전도성 산화물층 사이에 높은 전도성을 가진 금속 박막을 가진 다층 전극을 삽입한 OMO 구조는 저온 공정을 이용하여 제작할 수 있다.

[0035] 제 1 산화물층(42)은 예를 들어, 알루미늄이 도핑된 산화아연(AZO)을 포함할 수 있으며, 경우에 따라서 전면에 사용된 제 1 투명전극층(20)과 동일한 재료를 사용할 수도 있다.

[0036] 금속층(44)은 예를 들어, 금속 중에서 가장 작은 저항성을 갖는 은(Ag)을 사용하되, 순수한 은(Ag)이 아닌 소정량의 산소가 도핑된 은(Ag)을 포함한다. 이를 AgOx로 표현할 수 있으며, 상기 AgOx에서 x는 임의의 실수로서, 산소의 함유량에 따라 달라진다. 제 2 산화물층(46)은 제 1 산화물층(42)과 같은 재료를 사용하나, 경우에 따라서 제 1 산화물층(42)에서 사용한 재료와 상이한 재료를 사용할 수도 있다.

[0037] 한편, OMO 전극의 전도도와 투과율은 전도성 산화물층(42, 46)과 금속층(44)의 두께로 결정된다. 따라서, 종래에는 최적의 광학적 및 전기적 특성을 위해 금속층(44)의 적절한 두께를 결정하는 데 주로 초점을 맞추었다.

[0038] 금속층(44)으로 사용되는 은(Ag)은 입자 성장 초기에 은 금속 원자가 별개의 섬으로 형성된다. 그러나 특정 임계 두께에서, OMO 막의 전기 저항 및 광 흡수는 은 금속층(44) 두께의 감소와 함께 급격하게 증가한다. 예를 들면, 이 임계 두께보다 크면 은 금속층(44)의 두께에 따라 전기 저항이 감소하는 반면, 가시광 및 근적외선 영역에서 은 금속층(44)의 강한 반사 때문에 투과율이 급격히 떨어진다.

[0039] 이를 해결하기 위해서, 본 발명에서는 제 2 투명전극층(40)의 금속층(44)으로서, 산소가 도핑된 은(Ag)을 기반으로 하는 OMO 구조를 개발함으로써 전기적 특성의 큰 손실이 없이 가시광 파장대역에서의 투과율을 향상시켰다. 즉, 본 발명의 기술사상을 따르는 OMO 구조는 알루미늄이 도핑된 산화아연(AZO)의 사이에 산소가 도핑된 은(Ag) 포함하는 금속층이 배치되는 구조를 가지며, 이를 AZO-AgOx-AZO로 표현한다.

[0040] 산소가 도핑된 은(Ag)의 도핑된 산소의 함량에 따라 Ag와 함께 Ag의 산화물, 예컨대, Ag_2O 이나 AgO가 함께 공존할 수 있다. 본 발명의 발명자는 전기전도도 및 광투과도를 최적화하기 위해서는 Ag 내에 도핑되는 최적의 산소함량이 존재함을 발견하였으며, 이에 대한 상세한 설명은 실험예를 통해서 보다 구체적으로 후술한다.

[0041] 다음으로, 본 발명의 일 실시예에 따른 산화은 투명 전극을 사용하여 개선된 투과성을 갖는 양면 수광형 태양전지(100)의 제조방법에 대하여 설명한다.

[0042] 본 발명의 산화은 투명 전극을 사용하여 개선된 투과성을 갖는 양면 수광형 태양전지(100)의 제조방법은 기판(10) 상에 제 1 투명전극층(20)을 형성하는 단계, 제 1 투명전극층(20) 상에 광전변환층(30)을 형성하는 단계 및 광전변환층(30) 상에 제 2 투명전극층(40)을 형성하는 단계를 포함할 수 있다.

[0043] 기판(10) 상에 제 1 투명전극층(20)을 형성하는 방법은 본 발명이 목적으로 하는 물성값을 갖는 막을 형성할 수 있는 방법이면 되며, 구체적으로 스퍼터링 방식, 전자빔 방식, 이온 플레이팅 방식, 스크린 인쇄 방식 또는 화학적 기상 증착(CVD) 방식, 스프레이 열분해 방식(SPD), 피로졸법 등과 같은 증착 방식 중 어느 하나를 사용하여 제 1 투명전극층(20)을 형성할 수 있다. 상기 증착 방식들은 기공지된 기술들로서 이에 대한 구체적인 설명은 생략한다.

[0044] 제 1 투명전극층(20)을 형성한 이후에, 제 1 투명전극층(20)의 표면의 적어도 일부를 텍스처링(texturing)할 수 있다. 상기 텍스처링은 결정질 실리콘 태양전지에서 사용되는 방식을 이용할 수 있으며, 상기 텍스처링 구조에 따라 빛의 반사율 및 굴절율을 제어함으로써 보다 높은 광전변환효율을 만족할 수 있다.

[0045] 텍스처링 이후에 제 1 투명전극층(20) 상에 수소화된 비정질 실리콘을 포함한 광전변환층(30)을 형성한다. 예를 들어, PECVD(plasma enhanced chemical vapor deposition)을 이용하여 수소화된 비정질 실리콘(a-Si:H) 박막층을 표면이 텍스처링 된 제 1 투명전극층(20) 상에 형성할 수 있다. 여기서, 광전변환층(30)은 제 1 투명전극층(20)의 표면 구조에 의해 같은 형태의 박막층으로 형성될 수 있다.

[0046] 이와 연속적으로, 제 2 투명전극층(40)을 광전변환층(30) 상에 형성할 수 있다. 구체적으로, 제 2 투명전극층

(40)은 예를 들어, 스퍼터링 방식을 이용하여 형성할 수 있다. 먼저, 알루미늄이 도핑된 산화아연(AZO) 타겟을 이용하여 광전변환층(30) 상에 제 1 AZO 박막(42)을 형성하는 단계, 은(Ag) 타겟을 이용하여 제 1 AZO 박막(44) 상에 은(Ag) 및 산화은(AgOx) 박막(44)을 형성하는 단계 및 알루미늄이 도핑된 산화아연(AZO) 타겟을 이용하여 은(Ag) 및 산화은(AgOx) 박막(44) 상에 제 2 AZO 박막(46)을 형성하는 단계를 포함할 수 있다. 여기서, 제 1 AZO 박막은 도 1의 제 1 산화물층(42)으로 이해될 수 있고, 은(Ag) 및 산화은(AgOx) 박막은 금속층(44)으로 이해될 수 있으며, 제 2 AZO 박막은 제 2 산화물층(46)으로 이해될 수 있다.

[0047] 또한, 제 2 투명전극층(40)을 형성하는 단계는, 스퍼터링 방식을 이용하며, 챔버 내에 공정가스를 공급하고, 은(Ag) 타겟에 고전압을 인가함으로써 광전변환층(30) 상에 은(Ag) 및 산화은(AgOx) 박막(44)을 증착하는 단계를 포함하되, 상기 공정가스로 불활성가스 및 산소가스를 혼합한 혼합가스를 사용하되, 상기 공정가스 내 상기 산소가스의 분압은 5% 내지 20%일 수 있다. 여기서, 상기 불활성가스는 아르곤, 질소 또는 이들의 혼합가스를 포함한다.

[0048] 한편, 상기 공정가스 내 산소가스의 분압은 5% 내지 20%의 범위에서 제어되어 은 및 산화은 박막(44)을 형성할 수 있으나, 제 1 AZO 박막(42), 제 2 AZO 박막(46)의 두께에 따라서 은 및 산화은 박막(44)의 두께가 제어될 수 있고, 산소가스의 분압에 의해 전도도 및 투과도가 각각 변화하게 된다. 따라서, 공정가스 내 산소가스의 분압은 제 2 투명전극층(40)을 구성하는 다층 박막들의 두께에 따라 조절되며, 바람직하게는 10% 내지 15%일 수 있으며, 더 바람직하게는 11% 내지 14%의 범위일 수 있다.

[0049] 이하에서, 본 발명의 실시예를 토대로 본 발명의 산화은 투명 전극을 사용하여 개선된 투과성을 갖는 양면 수광형 태양전지(100)를 제조하는 방법 및 이에 의해 제조된 양면 수광형 태양전지(100)에 대해서 좀 더 구체적으로 설명한다. 이하 실시예에서, 제 2 투명전극층(40)은 산소분압을 제어함에 따라 다양한 형태의 OMO 구조를 포함하는 것으로 이해된다.

[0050] 이하에서는, 본 발명의 이해를 돕기 위한 실시예들을 설명한다. 다만, 하기의 실험예들은 본 발명의 이해를 돕기 위한 것일 뿐, 본 발명이 아래의 실시예들만으로 한정되는 것은 아니다.

[0051] <실시예>

[0052] 먼저, 소다라임유리 기판(10) 상에 FTO(fluorine-doped tin oxide) 박막(20)을 형성하였다. 이후에 FTO 박막(20)의 표면을 텍스처링 하였으며, PECVD 방식을 이용하여 약 250℃의 온도에서 수소화된 비정질 실리콘(a-Si:H) 박막(30)을 PIN 접합 구조로 합성하였다. 수소화된 비정질 실리콘 박막은 다중 챔버 클러스터 시스템에서 수행되었으며, P형의 수소화된 비정질 실리콘 박막층은 B_2H_6, PH_3 및 CO_2의 도판트 가스의 혼합물로 증착되었다. I형의 수소화된 비정질 실리콘 박막층은 40.68㎒ 및 30W의 매우 높은 주파수 조건에서 H_2로 희석된 SiH_4 소스가스를 사용하여 증착되었다. 이후에 N형의 SiOx 박막층은 P형의 수소화된 비정질 실리콘 박막층을 형성하는 것과 동일한 가스의 혼합물로 증착되었다.

[0053] 상기 수소화된 비정질 실리콘 박막(30)을 형성한 이후에 연속적으로 수소화된 비정질 실리콘 박막(30) 상에 OMO 구조를 갖는 전극(40)을 형성하였다. OMO구조를 갖는 전극(40)은 스퍼터링 공정을 통해 분리된 챔버에서 각각 증착시켰다. 먼저, 제 1 AZO 박막(42)은 실온에서 500W의 DC 전력에서 마그네트론 스퍼터링 시스템을 사용하여 수행하였다. 증착 챔버는 스퍼터링 전, 1.8×10^{-6}Torr로 배기시키고, 스퍼터링은 10.2sccm의 유량으로 Ar 가스로 2mTorr에서 수행하였다. 여기서, 약 55㎚ 두께의 제 1 AZO 박막(42)은 1wt%의 알루미늄이 도핑된 산화아연 타겟을 이용하여 증착하였다.

[0054] 은 및 산화은 박막(44)은 실온에서 약 50W의 DC 전력에서 마그네트론 스퍼터링 시스템을 사용하여 수행하였다. 여기서, 약 8㎚ 두께의 은 및 산화은 박막(44)은 20sccm의 Ar 가스 유량의 조건하에서 0sccm, 1sccm, 3sccm 및 5sccm로 O_2 가스의 유량을 제어하면서 증착하였다. 스퍼터링 공정은 4mTorr의 공정 압력에서 수행하였다. 상기 O2 가스의 유량에 따라 각각 제조된 샘플은 순서대로 실험예 1, 실험예 2, 실험예 3 및 실험예 4로 이해된다.

[0055] 이후에 제 2 AZO 박막(46)은 실온에서 500W의 DC 전력에서 마그네트론 스퍼터링 시스템을 사용하여 수행하였으며, 제 1 AZO 박막(42)와 동일한 공정조건으로 동일한 두께로 증착하였다.

[0056] 실험예 샘플을 각각 제조한 이후에, 서피스 프로파일러(P-11, KLA-Tencor)를 사용하여 박막의 두께를 측정하고, 분광분석 엘립소미터(SE MG-1000, nano-view)를 이용하여 각 박막의 굴절률 및 흡광계수를 측정하였으며, 4프로브 시스템(MCP-T600, Mitsubishi Chemical Co.)을 사용하여 전극의 면저항을 측정하였다. 원자력 현미경(NX10,

Park system)을 사용하여 전극의 표면 미세구조를 분석하였으며, 표면 거칠기는 각 층에 대해 1 × 1㎛의 표면적에서 제곱 평균 제곱근 값으로 평가 하였다.

[0057] 박막의 결정 구조는 Cu, Kα 방사선(1.54 Å)을 이용한 X 선 회절법(XRD, X'pert MPD, PANalytic)을 사용하여 2Θ 범위 30 ° 내지 80 ° 에서 분석하였으며, 자외선-가시광선 분광 광도계(Cary 5000, Varian)를 사용하여 300 nm 내지 800nm의 파장 범위에서 박막의 반사율 및 투과율을 분석하였다.

[0058] 양자 효율 측정 시스템(IQE-200, Newport Co.)을 사용하여 태양전지의 외부 양자 효율을 측정하였으며, 태양 광 시뮬레이터(Oriel 300, Newport Co.)와 소스 미터(Keithley 2400)를 사용하여 효율(Θ), 개방 회로 전압(VOC), 단락 전류 밀도 (JSC)를 분석하였으며, 표준 권장 AM1.5G 방사 조도(front incident) 및 발광 다이오드(light-emitting diode, LED) 조명하에서 측정하였다. LED의 조사 밀도는 LED의 스펙트럼 밀도를 고려하여 조도계(LX1330B)로 측정했을 때 약 0.3 kW/㎠였다.

[0059] 도 2는 본 발명의 실험예에 따른 산화은 투명 전극을 사용하여 개선된 투과성을 갖는 양면 수광형 태양전지 샘플들의 전류-전압 특성을 분석한 그래프이다.

[0060] 도 2의 (a)는 AgOx 박막의 산소가스의 유량 변화에 따른 전면 입사 및 후면 입사에 대한 전류-전압 특성을 각각 측정한 것으로서, 도 2의 (b)에서 각 파라미터별로 비교하였다. 전면에서 광이 입사되는 경우, 실험예 1의 경우, 효율(Θ) 5.5%, 단락전류(Jsc) 10.2㎃/㎠, 필팩터(FF) 67%, 개방전압(Voc) 0.80V를 나타낸다. 반면, 실험예 4의 경우는 경향이 상이하였다. 후면에서 광이 입사되는 경우, 산소가스의 유량이 3sccm으로 증가할 때까지 태양전지의 효율은 증가하나, 실험예 4의 경우는 산소가스의 유량이 5sccm으로 증가할 경우 효율이 낮아졌다.

[0061] 산소가스의 유량에 따른 개방전압은 약 0.01V의 무시할만한 편차를 가지며, 전면 및 후면 광 입사 조건하에서 단락전류와 필팩터는 태양전지 효율에 영향을 끼쳤다. 특히, 후면 광 입사 조건에서 단락전류와 필팩터가 효율 변화에 주요한 요인으로 고려되는 것을 확인할 수 있었다.

[0062] 도 3은 본 발명의 실험예에 따른 산화은 투명 전극을 사용하여 개선된 투과성을 갖는 양면 수광형 태양전지 샘플들의 X선 회절 분석, 면저항 및 표면의 미세구조를 분석한 결과이다.

[0063] 도 3의 (a)는 각 실험예 샘플들의 X선 회절 패턴을 측정한 결과로서, 은 및 산화은(AgOx) 박막의 X선 회절 패턴이다. 모든 실험예 샘플에서 (111)의 바람직한 배향을 갖는 은(Ag)이 검출었으나, 산소가스의 함유량이 증가될수록 금속 은(Ag)의 상(phase)은 점차적으로 열화되고, Ag_2O 상(phase)의 회절 피크는 실험예 3에서 나타났다. 특히, 실험예 4의 경우, 은(Ag) 피크는 거의 식별이 가능하지 않았으며, 이러한 상의 변화는 은 및 산화은(AgOx) 박막의 전도도를 감소시키는 것을 의미한다.

[0064] 도 3의 (a)를 참조하면, 실험예에 따라 Ag의 (111)면, Ag_2O의 (111)면 및 AgO의 (002)면의 피크 면적이 상이하게 나타남을 확인할 수 있다. 이에 실험예에 따른 피크의 상대적인 비를 비교하기 위하여 수학식 1로 정의되는 면적비를 제시하였으며, 피크 각각의 면적은 수학식 2를 이용하여 정의하였다.

[0065] (수학식 1)

[0066] (Ag_2O(111) 피크의 면적 + AgO(002) 피크의 면적) / Ag(111) 피크의 면적

[0067] (수학식 2)

[0068] 피크의 면적 = 피크의 높이(P) × 각 조성 피크의 반가폭(W)

[0069] (여기서, 상기 반가폭(W)은 각 조성 피크의 높이(P)의 1/2에 해당하는 지점에서의 피크의 폭을 의미함)

[0071] 상기 수학식 1 및 수학식 2에 의해 연산된 각 조성의 면적 및 면적비는 하기 표 1에 정리하였다.

표 1

[0072]

산소의 유량 [sccm]	Ag(111) [㎠]	Ag_2O(111) [㎠]	AgO(002) [㎠]	면적비
실험예 2	0.18	0	0.08	0.4
실험예 3	0.32	0.14	0.7	2.6
실험예 4	0.06	0.21	0.2	6.8

[0073] 표 1을 참조하면, 수학식 1로 표현되는 면적비가 0.4 보다 크거나 6.8 보다 작은 범위를 가질 수 있음을 확인할 수 있다. 이러한 면적비는 정성적으로는 본 발명의 OMO 구조에서 금속층에서의 은(Ag) 및 산화은(AgO, Ag2O)간의 면적비율로 해석될 수 있다. 즉 면적비가 클수록 금속층 내에 포함된 은(A)의 함량이 상대적으로 더 적다는 것을 의미할 수 있다.

[0074] 만약, 면적비가 0.4 보다 작을 경우, 전기전도도 측면에서는 유리할 수 있으나, 투과도 측면에서 악영향을 끼치게 되므로 소정의 파장 대역에서의 광을 투과시키지 못해 전체적인 광전변환효율을 떨어트리게 된다.

[0075] 반면에, 면적비가 6.8 보다 클 경우, 투과도 측면에서는 유리하나, 은(Ag) 금속의 함량이 상대적으로 적어 전기전도도 특성이 나빠져 광전변환효율을 떨어트리게 된다. 따라서, 은 및 산화은(AgOx) 박막의 두께뿐 아니라, 상기 박막 내의 산화은의 면적비는 적절하게 조절되어야 하며, 보다 바람직하게는 2.0 내지 3.0의 범위내에서 적절하게 제어해야 한다.

[0076] 도 3의 (b)는 산소가스의 유량별 샘플들의 면저항 및 태양전지 샘플의 필팩터(FF)를 분석한 결과이다. 산소가스의 유량을 증가시킴에 따라 면저항은 증가하며, 실험예 1의 경우 9Ω/□에서 실험예 3의 경우 12Ω/□까지 증가하였다. 그러나, 실험예 4의 경우 59Ω/□으로 급격하게 증가하였다. 이는 산소가스의 유량이 5sccm이 되는 부근에서 Ag_2O로의 상전이에 대한 면저항의 증가가 이루어지는 것을 의미한다.

[0077] 면저항의 증가는 직렬 저항(Rs)의 증가에 직접적으로 기여하여 필팩터(FF)의 감소를 결정한다. 또, 실험예 4 샘플에서 감소된 단락전류(Jsc)는 전극의 낮은 전도율과 관련이 있다.

[0078] 도 3의 (c) 및 (d)에 의하면, 은(Ag) 금속 박막의 표면 거칠기는 약 8㎚의 두께이며, 산소가스의 유량이 증가함에 따라 두께가 감소한다. 산소가스의 유량이 증가하면 각 샘플의 표면 조도는 1.37㎚에서 0.74㎚로 감소한다. 이는 은(Ag) 금속 박막이 스퍼터링 방법을 통해 증착되는 경우, 초기 성정시 섬 모양으로 형성되며, 산소가 첨가됨에 따라 핀홀 및 경계의 불연속성이 감소되어 은(Ag) 금속층을 포함하는 산화은(AgOx) 박막의 연속적인 표면 경계가 형성된다.

[0079] 도 4는 본 발명의 실험예에 따른 산화은 투명 전극을 사용하여 개선된 투과성을 갖는 양면 수광형 태양전지 샘플들의 파장에 따른 반사율과 흡수율을 측정한 그래프이다.

[0080] 도 4의 (a) 및 (b)는 각 실험예 샘플들의 굴절률(n)과 흡광계수(k)를 측정한 결과이다. 순수한 은(Ag) 금속 박막의 경우, 강한 플라즈마 주파수(3.9eV, ~ 400nm)의 전자가 분명히 관찰되며, 높은 흡광계수(k) 값은 박막의 금속 상(phase)을 보여준다. 은(Ag) 금속 박막의 산화가 진행됨에 따라 전자 밀도와 플라즈마 주파수가 감소한다. 랜덤한 산화은(AgOx) 입자는 플라즈마 주파수를 교란하여 플라즈마 주파수의 파장을 더 길고 넓게 만들어서 도 4의 (a)에서 실험예 3 및 실험예 4 샘플과 같이 증착된 박막에서 플라즈마 주파수를 식별 할 수 없었다. 또, 도 4의 (b)에 도시 된 흡광계수(k) 값의 감소는 금속-유전체 산화은(AgOx) 박막의 중간상(intermediate phase)의 변화로 해석 될 수 있다.

[0081] 수소화된 비정질 실리콘 태양전지의 후면전극으로 OMO 구조의 전극이 사용될 때, 장파장 대역에서의 광 투과율은 매우 중요하다. 이는 단파장의 빛이 수소화된 비정질 실리콘 광전변환층에 흡수되어 전력을 생성하여 장파장 대역의 빛만 남기 때문이다.

[0082] 한편, 본 발명자는 OMO 구조의 후면 전극층의 반사율, 투과율 및 흡광도를 계산하였고, 도 4의 (c)는 OMO 구조의 후면 전극층이 유사한 반사율을 갖는 것을 도시하고 있다. 그러나, 실험예 3 및 실험예 3에서와 같이, 산소가스의 유량이 3sccm 내지 5sccm을 갖는 것들은 500㎚ 내지 800㎚의 파장 범위에서 약간 높은 반사율을 갖는다.

[0083] 도 4의 (d)에 의하면, 산소가스의 유량 증가에 따라, OMO 구조의 후면 전극층의 흡광도는 감소하지만, 실험예 4의 경우 흡광도가 급격히 증가하고, 실험예 3의 경우 장파장 영역에서 가장 낮은 흡광도가 얻어진다.

[0084] 도 5는 본 발명의 실험예에 따른 산화은 투명 전극을 사용하여 개선된 투과성을 갖는 양면 수광형 태양전지 샘플들의 파장에 따른 투과도 및 양자효율을 측정한 그래프이다.

[0085] 도 5의 (a)는 OMO 구조의 후면 전극층의 시뮬레이션된 투과율을 도시하고 있다. 그 결과, 장파장 영역에서 가장 높은 투과율을 보여 주며, 실험예 3에서 증착 된 OMO 박막은 도 5의 (b)에서와 같이 실제로 측정된 투과율과 일치한다. 도 5의 (b)에서 500㎚ 내지 800㎚ 파장 대역에서의 평균 투과율은 산소가스의 유량이 0에서 3sccm으로 증가함에 따라 87.33 %에서 93.27 %로 증가하였다. 그러나, 실험예 4의 경우, 동일한 파장 대역에서 가장 낮은

투과율을 나타낸다.

[0086] 한편, 도 2 및 도 4를 다시 참조하면, 600㎚ 이하의 파장 범위의 광은 주로 수소화된 비정질 실리콘에 의해 흡수되며, 이 범위에서의 반사는 전면으로 입사되는 광에 대한 단락전류(Jsc)의 값이 다른 OMO 전극과 유사하도록 비슷한 특성을 갖는다. 실험예 3와 같이 은(Ag) 금속 박막의 산화가 너무 많이 진행되면 후면전극의 전도도가 감소하고 필팩터(FF)가 감소한다. 후면으로 입사되는 광의 경우, 도 5의 (b)의 평균 투과율에 따라 단락전류(Jsc) 값이 얻어졌으며, 이는 도 5의 (c) 및 (d)에 나타난 외부 양자 효율 측정치로 확인할 수 있었다.

[0087] 도 6은 본 발명의 실험예에 따른 산화은 투명 전극을 사용하여 개선된 투과성을 갖는 양면 수광형 태양전지 샘플들의 양면투과시 전류-전압 특성 및 투과도를측정한 결과이다.

[0088] 도 6의 (a)는 양면 수광된 태양전지 샘플의 효율(b-Θ), 단락전류(b-JSC), 개방전압(b -VOC) 및 필팩터(b-FF)를 각각 측정한 결과로서, 각 실험예 샘플별로 측정하여 정리한 것이다.

[0089] 실험예 1의 경우, 양면 효율이 7.4%, 양면 단락전류 값이(b-Jsc) 14.0㎃/㎠, 양면 필팩터(b-FF)가 65% 및 양면 개방전압(b-Voc)가 0.81V로 측정되었다. 예상대로, 실험예 2 및 실험예 3은 필팩터(FF)의 점진적인 감소에도 불구하고, 높은 단락전류(Jsc)가 각각 15.0㎃/㎠ 및 15.2㎃/㎠으로 나타났으며, 이 때 양면 효율이 7.9% 및 7.7%의 높은 값을 나타내었다. 양면 단락전류(b-Jsc)의 값은 도 2의 전면 입사 및 후면 입사시 측정된 단락전류의 합에 해당하며, 개방전압은 도 2를 참조하여 상술한 바와 같이, 무시할만한 편차를 가졌다.

[0090] 결과적으로, 필팩터(FF)와 단락전류(Jsc)는 실험예 2의 경우, 가장 높은 효율을 얻는데 영향을 미쳤다. BIPV에 적용되는 태양전지의 경우, 양면 수광시 태양전지의 효율 향상이 바람직하나, 효율 뿐만 아니라 가시광선 파장대역에서의 전체 투과율도 중요하다. 도 6의 (b)에 도시 된 바와 같이, 실험예 3의 경우, 500㎚ 내지 800㎚ 파장대역에서의 평균 투과율은 실험예 1의 경우, 18.78%에서 실험예 3의 경우, 평균 투과율은 21.9%로 상당히 개선된 투과율을 갖는 것을 확인할 수 있었다. 실험예 3의 투과율 향상은 도 6의 (c)에서 시각적으로 확인할 수 있다.

[0091] BIPV에 적용되는 태양전지에서 셀 효율과 투과율이 모두 중요하기 때문에, 은(Ag) 금속 박막층에 적절한 양의 산소를 첨가함으로써 높은 투과도와 높은 효율을 갖는 OMO 구조의 후면전극을 제조할 수 있다.

[0092] 정리하면, 본 발명자는 은(Ag) 금속 상이 산소가스의 유량이 증가하는 조건 하에서 금속-유전체 중간 상으로 전이되어 산화은(AgOx)을 기반으로 하는 OMO 구조의 광학적 및 전기적 특성을 또한 변화시키는 것을 확인하였다. 시뮬레이션 결과, 양면 수광형 태양전지의 후면전극에 대해서 적정량의 산소가 첨가된 산화은 기반의 후면전극이 최적인 것을 확인하였다.

[0093] 본 발명은 도면에 도시된 실시예를 참고로 설명되었으나 이는 예시적인 것에 불과하며, 당해 기술분야에서 통상의 지식을 가진 자라면 이로부터 다양한 변형 및 균등한 다른 실시예가 가능하다는 점을 이해할 것이다. 따라서 본 발명의 진정한 기술적 보호 범위는 첨부된 특허청구범위의 기술적 사상에 의하여 정해져야 할 것이다.

부호의 설명

[0094] 10 : 기판

20 : 제 1 투명전극층

30 : 광전변환층

40 : 제 2 투명전극층

42 : 제 1 산화물층

44 : 금속층

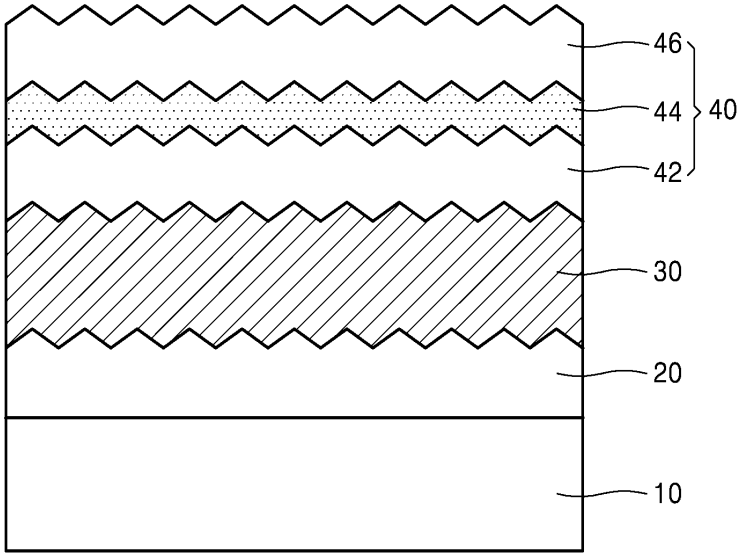
46 : 제 2 산화물층

100 : 양면 수광형 태양전지

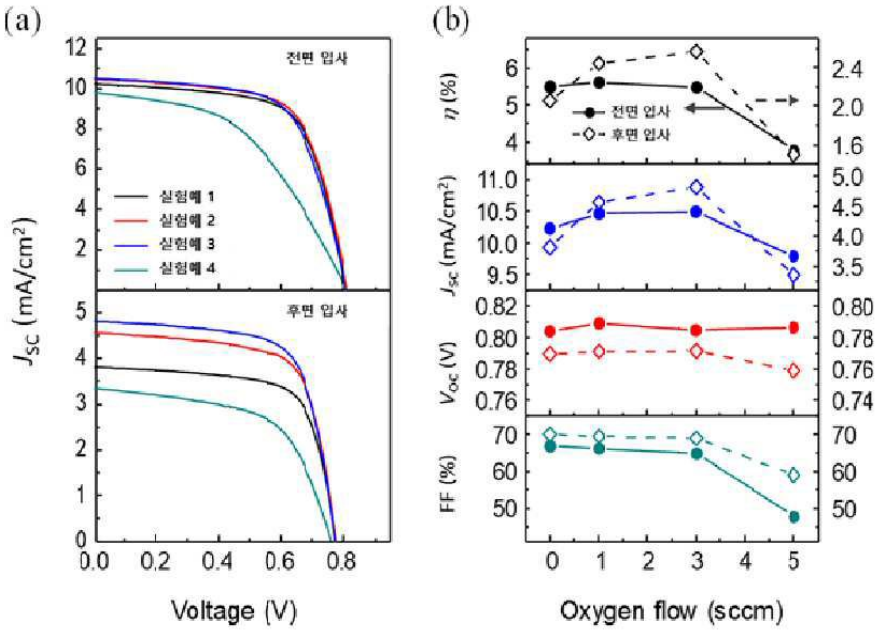
도면

도면1

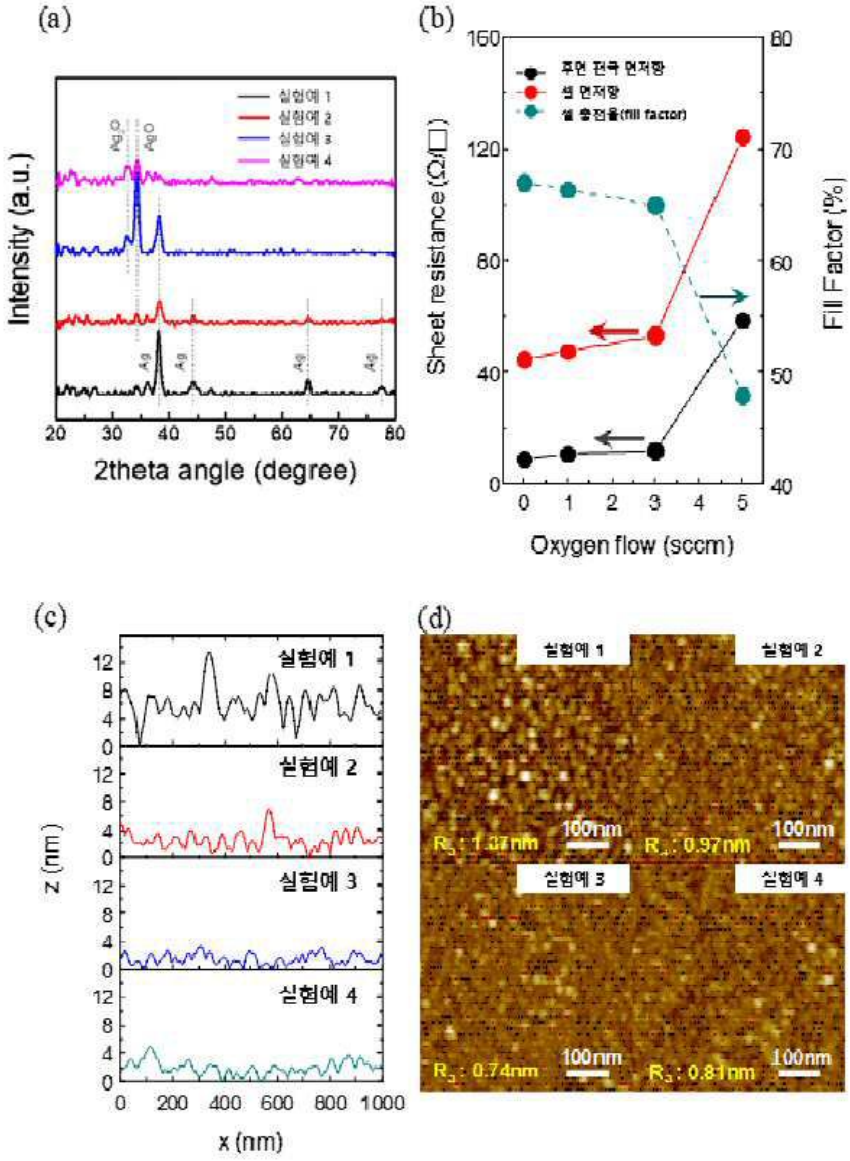
100



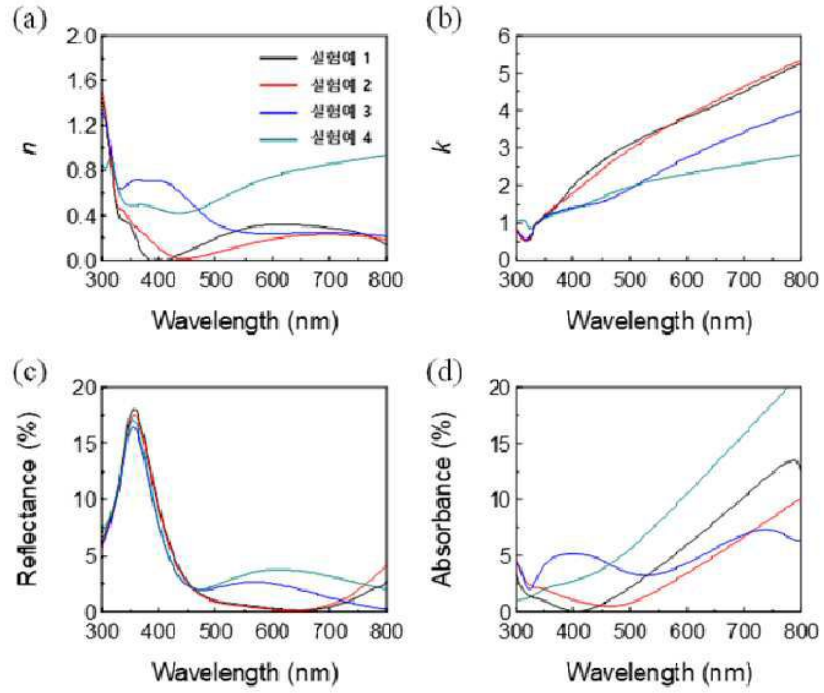
도면2



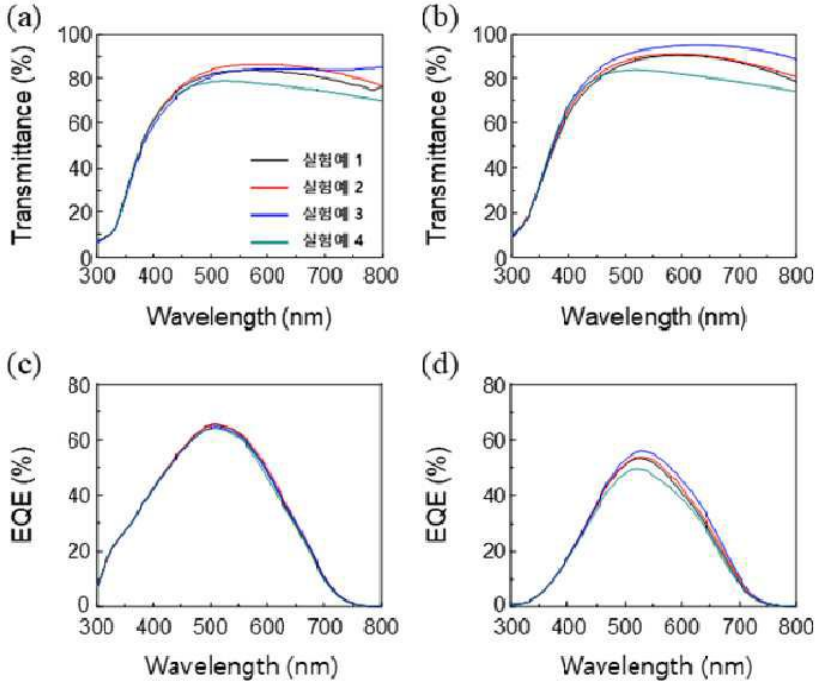
도면3


(a)
Intensity (a.u.)
2theta angle (degree)
실험예 1
실험예 2
실험예 3
실험예 4
Ag2O
AgO
Ag
(b)
Sheet resistance (Ω/□)
Fill Factor (%)
Oxygen flow (sccm)
(c)
z (nm)
x (nm)
실험예 1
실험예 2
실험예 3
실험예 4
(d)
실험예 1
실험예 2
실험예 3
실험예 4
100nm

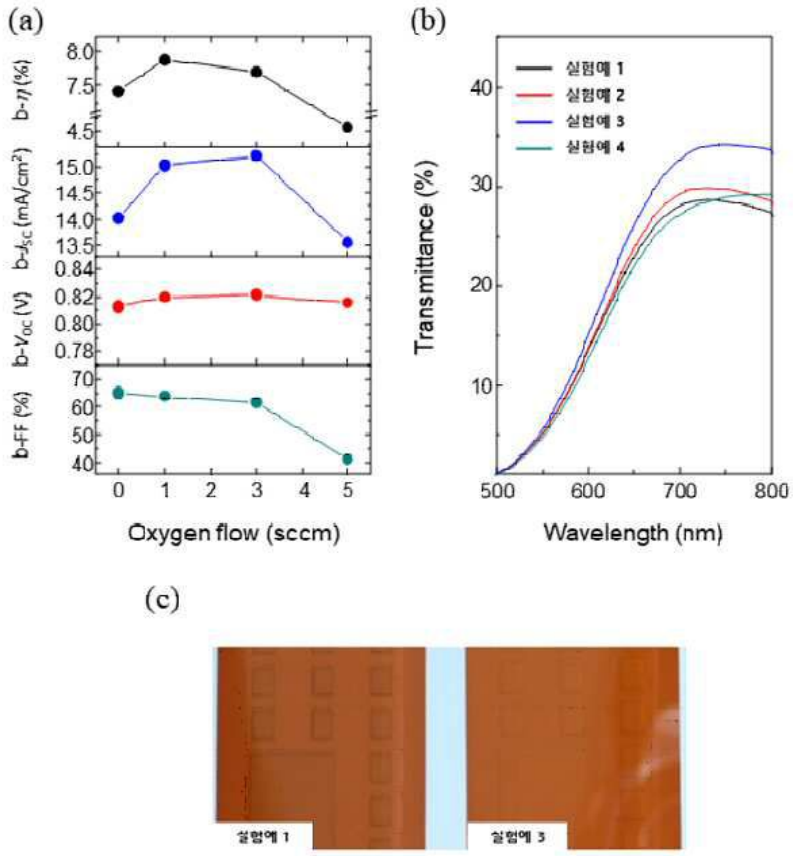
도면4


(a)
n
실험예 1
실험예 2
실험예 3
실험예 4
Wavelength (nm)
(b)
k
Wavelength (nm)
(c)
Reflectance (%)
Wavelength (nm)
(d)
Absorbance (%)
Wavelength (nm)

도면5


(a)
Transmittance (%)
실험예 1
실험예 2
실험예 3
실험예 4
Wavelength (nm)
(b)
Transmittance (%)
Wavelength (nm)
(c)
EQE (%)
Wavelength (nm)
(d)
EQE (%)
Wavelength (nm)

도면6


(a)
b-η (%)
b-J_{SC} (mA/cm²)
b-V_{OC} (V)
b-FF (%)
Oxygen flow (sccm)
(b)
Transmittance (%)
Wavelength (nm)
실험예 1
실험예 2
실험예 3
실험예 4
(c)
실험예 1
실험예 3