(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2022-0165016
(43) 공개일자 2022년12월14일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
H01L 31/0236 (2006.01) *H01L 31/0224* (2006.01)
H01L 31/042 (2014.01) *H01L 31/075* (2006.01)
H02S 20/22 (2014.01) *H02S 40/22* (2014.01)
(52) CPC특허분류
H01L 31/0236 (2013.01)
H01L 31/022425 (2013.01)
(21) 출원번호 10-2021-0073439
(22) 출원일자 2021년06월07일
심사청구일자 2021년06월07일

(71) 출원인
한국재료연구원
경상남도 창원시 성산구 창원대로 797 (상남동)
(72) 발명자
권정대
경상남도 창원시 성산구 창원대로1209번길 22
최수원
부산광역시 북구 낙동북로 737
김지훈
부산광역시 북구 함박봉로140번길 16
(74) 대리인
이인행

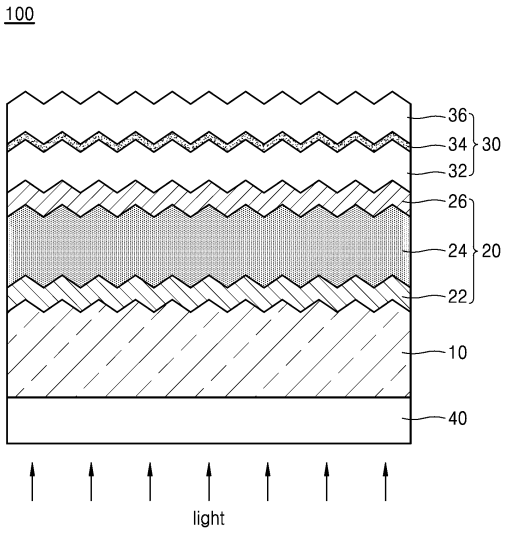
전체 청구항 수 : 총 8 항

(54) 발명의 명칭 **태양광 발전 시스템**

(57) 요 약

본 발명의 일 관점에 따르면, 태양광 발전 시스템이 제공된다. 상기 태양광 발전 시스템은 복수의 태양광 패널로 이루어지며, 상기 복수의 태양광 패널은 건축물의 적어도 일부 외벽 영역에 형성되되, 상기 복수의 태양광 패널의 표면거칠기는 상기 건축물에 부착되는 위치에 따라 각각 상이할 수 있다.

대 표 도 - 도1



(52) CPC특허분류
H01L 31/022466 (2013.01)
H01L 31/042 (2013.01)
H01L 31/075 (2013.01)
H02S 20/22 (2015.01)
H02S 40/22 (2015.01)
Y02E 10/548 (2020.08)

이 발명을 지원한 국가연구개발사업
과제고유번호 2640
과제번호 20192010107400
부처명 산업통상자원부
과제관리(전문)기관명 한국에너지기술평가원
연구사업명 에너지수요관리핵심기술
연구과제명 에너지 자립형 스마트 창호 기술 개발(3/4)
기 여 율 1/1
과제수행기관명 한국전자통신연구원
연구기간 2021.01.01 ~ 2021.12.31

명 세 서

청구범위

청구항 1

복수의 태양광 패널로 이루어진 태양광 발전 시스템으로서,

상기 복수의 태양광 패널은 건축물의 적어도 일부 외벽 영역에 형성되되,

상기 복수의 태양광 패널의 표면거칠기는 상기 건축물에 부착되는 위치에 따라 각각 상이한,

태양광 발전 시스템.

청구항 2

제 1 항에 있어서,

상기 건축물의 외벽의 엣지(edge)에서부터 중앙 부분으로 갈수록 상기 복수의 태양광 패널의 표면거칠기가 상대적으로 높아지는,

태양광 발전 시스템.

청구항 3

제 1 항에 있어서,

상기 건축물의 외벽의 일측 엣지(edge) 부분에서부터 타측 엣지(edge) 부분으로 갈수록 상기 복수의 태양광 패널의 표면거칠기가 상대적으로 높아지는,

태양광 발전 시스템.

청구항 4

제 1 항에 있어서,

상기 건축물의 외벽의 아래층에서부터 윗층으로 갈수록 상기 복수의 태양광 패널의 표면거칠기가 상대적으로 높아지는,

태양광 발전 시스템.

청구항 5

제 1 항에 있어서,

광 입사량이 상대적으로 높은 영역에 부착되는 태양광 패널의 표면조도와 광 입사량이 상대적으로 낮은 영역에 부착되는 태양광 패널의 표면조도 차이에 따라 상기 복수의 태양광 패널의 표면거칠기를 각각 상이하게 제어하는,

태양광 발전 시스템.

청구항 6

제 1 항에 있어서,

상기 복수의 태양광 패널은 OMO(oxide-metal-oxide) 전극구조를 갖는 양면 수광형 태양전지 모듈을 포함하는,

태양광 발전 시스템.

청구항 7

제 6 항에 있어서,

상기 모듈은,

기판 상에 형성된 제 1 투명전극층;

상기 제 1 투명전극층 상에 형성된 광전변환층; 및

상기 광전변환층 상에 형성된 제 2 투명전극층;을 포함하고,

상기 제 1 투명전극층의 상부 표면의 적어도 어느 일부를 식각함으로써, 상기 태양전지 모듈의 헤이즈(haze)를 제어하며,

상기 제 2 투명전극층은 제 1 산화물층, 금속층 및 제 2 산화물층이 순차적으로 적층된 구조를 포함하는,

태양광 발전 시스템.

청구항 8

제 7 항에 있어서,

상기 광전변환층은 p형 반도체층, I형 반도체층 및 N형 반도체층이 순차적으로 적층된 구조를 포함하는,

태양광 발전 시스템.

발명의 설명

기 술 분 야

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

배 경 기 술

[0002] 화석 연료 사용으로 인한 기후 위기와 환경오염에 대응하기 위해 태양광, 풍력, 파력, 수소 에너지 등과 같은 신재생 에너지원의 중요성이 높아지고 있다. 최근에는 BIPV(Building-Integrated Photovoltaic) 시스템에 태양전지를 적용하여 도시의 건물에서 직접 전기를 생산하는 연구가 진행 중이다. 투명한 BIPV 창은 건물의 대부분의 외벽에 설치할 수 있으며, 건물 외부에서 건물 내부로 가시광선을 전송하면서 전력을 생성할 수 있다.

[0003] BIPV 창의 경우 유기태양전지(OPV), 염료감응형, 비정질 실리콘, 페로브 스카이트 태양전지 등과 같이 다양한 박막 태양 전지가 연구되고 있다. 건물의 긴 수명을 고려할 때, 유기태양전지의 안정성, 염료감응 또는 페로브 스카이트 태양전지는 아직 BIPV 응용 분야에 대해 검증되지 않았다. 이와 대조적으로, 수소화 된 비정질 실리콘(a-Si:H) 박막 태양전지는 BIPV 창에 대해 다양한 장점을 가지고 있다. 더 저렴하고 무독성이며 대면적 기판에 대한 제조 능력이 더 높다. 또 수소화 된 비정질 실리콘 박막 태양전지의 안정성이 현장에서 입증되었으며, 건물의 실제 요구 사항을 충족하는 다양한 색상 또는 투과율을 갖는 수소화 된 비정질 실리콘 박막 태양전지로 입증되었다.

[0004] 일반적으로 태양전지는 빛이 태양전지에 수직으로 입사되는 100㎽/㎠를 기준(1sun)으로 광도를 측정한다. 그러나, 대부분의 실제 응용에서 빛은 수직으로 BIPV 시스템에 들어가지 않는다. 따라서 BIPV 장치는 저조도 조건에서 작동해야 할 수 밖에 없다. 생성된 전력을 높이기 위해 대부분의 태양전지 장치는 광 트래핑(light trapping) 구조를 사용하여 효율성을 향상시킨다. 광 트래핑 구조는 광 흡수를 위한 경로 길이를 증가시켜 더 많은 광 생성 전류를 생성한다. 수소화된 비정질 실리콘 박막 태양 전지의 경우, 광 트랩 구조는 셀 전면 전극에 텍스처링(texturing)하여 입사광을 효과적으로 산란시켜 출력 전류를 개선함으로써 구현할 수 있다.

[0005] 그러나, 광 트래핑 구조는 일반적으로 입사광을 산란시킬 수 있는 형태학적 복잡성을 갖지만, 균일하고 완벽한 활성층의 성장을 방해한다. 따라서, 광 트래핑 구조는 생성된 태양전지의 캐리어가 재결합되어 의도하지 않게 출력 전류를 감소시키는 결함을 유발할 수 있다.

[0006] 또한, 입사광의 강도에 따라 전류 손실량이 증가하고 광 트래핑 효과를 위한 박막 태양전지의 거동이 복잡한 문제점이 있다. 그러므로, 태양전지의 성능을 위해 빛의 강도와 무관한 광 트래핑 구조를 평가하는 것은 어려운 일이다. BIPV 애플리케이션에서 태양광의 강도는 지리적 위치, 설치 각도, 태양의 위치 및 기상 조건과 같은 외

부 환경의 실제 조건에 따라 달라진다. 따라서 BIPV 장치의 특성을 예측하려면 다양한 조도 조건에서 박막 태양전지 장치의 광 트래핑 효과를 이해하는 것이 중요하며, 다양한 조건을 고려한 최적의 태양광 발전 시스템을 개발해야 한다.

발명의 내용

해결하려는 과제

[0007] 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. 또, 조도에 따라 상이한 태양광 발전 효율을 고려한 최적의 태양광 발전 시스템을 제공하는 것을 목적으로 한다. 그러나 이러한 과제는 예시적인 것으로, 이에 의해 본 발명의 범위가 한정되는 것은 아니다.

과제의 해결 수단

[0008] 상기 과제를 해결하기 위한 본 발명의 일 관점에 따르면, 태양광 발전 시스템을 제공한다.

[0009] 상기 태양광 발전 시스템은 복수의 태양광 패널로 이루어진 태양광 발전 시스템으로서, 상기 복수의 태양광 패널은 건축물의 적어도 일부 외벽 영역에 형성되되, 상기 복수의 태양광 패널의 표면거칠기는 상기 건축물에 부착되는 위치에 따라 각각 상이할 수 있다.

[0010] 상기 태양광 발전 시스템에 있어서, 상기 건축물의 외벽의 엣지(edge)에서부터 중앙 부분으로 갈수록 상기 복수의 태양광 패널의 표면거칠기가 상대적으로 높아질 수 있다.

[0011] 상기 태양광 발전 시스템에 있어서, 상기 건축물의 외벽의 일측 엣지(edge) 부분에서부터 타측 엣지(edge) 부분으로 갈수록 상기 복수의 태양광 패널의 표면거칠기가 상대적으로 높아질 수 있다.

[0012] 상기 태양광 발전 시스템에 있어서, 상기 건축물의 외벽의 아래층에서부터 윗층으로 갈수록 상기 복수의 태양광 패널의 표면거칠기가 상대적으로 높아질 수 있다.

[0013] 상기 태양광 발전 시스템에 있어서, 광 입사량이 상대적으로 높은 영역에 부착되는 태양광 패널의 표면조도와 광 입사량이 상대적으로 낮은 영역에 부착되는 태양광 패널의 표면조도 차이에 따라 상기 복수의 태양광 패널의 표면거칠기를 각각 상이하게 제어할 수 있다.

[0014] 상기 태양광 발전 시스템에 있어서, 상기 복수의 태양광 패널은 OMO(oxide-metal-oxide) 전극구조를 갖는 양면 수광형 태양전지 모듈을 포함할 수 있다.

[0015] 상기 태양광 발전 시스템에 있어서, 상기 모듈은, 기판 상에 형성된 제 1 투명전극층; 상기 제 1 투명전극층 상에 형성된 광전변환층; 및 상기 광전변환층 상에 형성된 제 2 투명전극층;을 포함하고, 상기 제 1 투명전극층의 상부 표면의 적어도 어느 일부를 식각함으로써, 상기 태양전지 모듈의 헤이즈(haze)를 제어하며, 상기 제 2 투명전극층은 제 1 산화물층, 금속층 및 제 2 산화물층이 순차적으로 적층된 구조를 포함할 수 있다.

[0016] 상기 태양광 발전 시스템에 있어서, 상기 광전변환층은 p형 반도체층, I형 반도체층 및 N형 반도체층이 순차적으로 적층된 구조를 포함할 수 있다.

발명의 효과

[0017] 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 태양전지 모듈을 이용한 태양광 발전 시스템을 제공할 수 있다. 물론 이러한 효과에 의해 본 발명의 범위가 한정되는 것은 아니다.

도면의 간단한 설명

[0018] 도 1은 본 발명의 일 실시예에 따른 태양광 발전 시스템에 사용되는 양면 수광형 태양전지 모듈의 구조를 개략적으로 도해하는 도면이다.

도 2 내지 도 5는 본 발명의 일 실시예에 따른 태양광 발전 시스템을 설명하기 위해 건축물에 부착된 양면 수광형 태양전지 모듈의 구조를 개략적으로 도해하는 도면이다.

도 6은 본 발명의 실험예에 따른 양면 수광형 태양전지 샘플에서 에칭시간별 ZnO:Al 박막의 표면 모폴로지를 측정한 결과이다.

도 7은 본 발명의 실험예에 따른 양면 수광형 태양전지 샘플에서 에칭시간별 ZnO:Al 박막의 광학적 특성을 분석한 결과이다.

도 8은 본 발명의 실험예에 따른 양면 수광형 태양전지 샘플의 ZnO:Al 박막의 에칭시간별 빛이 입사되는 조도에 따른 광전변환특성 및 단락전류 특성을 분석한 결과이다.

도 9는 본 발명의 실험예에 따른 양면 수광형 태양전지 샘플의 ZnO:Al 박막의 에칭시간별 빛이 입사되는 조도에 따른 저항 특성을 분석한 결과이다.

도 10은 본 발명의 실험예에 따른 양면 수광형 태양전지 샘플의 ZnO:Al 박막의 에칭시간별 외부양자효율(EQE) 및 개방전압(Voc)을 측정한 결과이다.

도 11은 본 발명의 실험예에 따른 양면 수광형 태양전지 샘플의 ZnO:Al 박막의 에칭시간별 전기적 특성(J/I_L, α_E 및 J_{Loss})을 측정한 결과이다.

도 12는 본 발명의 실험예에 따른 양면 수광형 태양전지 샘플의 ZnO:Al 박막의 에칭시간별 미세구조를 분석한 결과이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0019] 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.

[0020] 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.

[0021] 종래에는 1sun(빛이 태양전지에 수직으로 입사되는 광량 100㎽/㎠)을 기준으로 태양전지 모듈의 광전변환효율을 측정한다. 하지만, 빛은 건축물에 수직으로 입사되는 경우가 거의 없으며, 이에 따라 상대적으로 낮은 조도 조건에서 작동할 수밖에 없다. 이로 인해, 측정된 태양전지 모듈의 광전변환효율보다 더 낮은 광전변환효율을 갖게 되는 문제점이 있다.

[0022] 이를 해결하기 위해서, 본 발명에서는 다양한 조도에서 태양전지 모듈의 효율을 측정하고, 이를 비교함으로써, 최대 광전변환효율을 얻을 수 있는 태양광 발전 시스템을 제공하고자 하였다.

[0023] 도 1은 본 발명의 일 실시예에 따른 태양광 발전 시스템에 사용되는 양면 수광형 태양전지 모듈의 구조를 개략적으로 도해하는 도면이다.

[0024] 도 1을 참조하면, 양면 수광형 태양전지 모듈(100)은 기판(40) 상에 제 1 투명전극층(10), 광전변환층(20) 및 제 2 투명전극층(30)이 순차적으로 적층된 구조를 포함한다. 여기서, 광전변환층(20)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.

[0025] 기판(40)은 유리(glass), 폴리머(polymer) 등 투명한 재질로 이루어진 것을 사용하며, 이 밖에도 빛을 투과시킬 수 있도록 투명한 재질이면 모두 사용 가능하다. 제 1 투명전극층(10)은 기판(40) 상에 형성되며, 증착방식으로 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 사용할 수 있다.

[0026] 광전변환층(20)은 예를 들어, PECVD(plasma enhanced chemical vapor deposition)을 이용하여 수소화된 비정질 실리콘(a-Si:H) 박막층을 제 1 투명전극층(10) 상에 형성할 수 있다. 여기서, 광전변환층(20)은 제 1 투명전극층(10)의 표면 구조에 의해 같은 형태의 박막층으로 형성될 수 있다.

[0027] 광전변환층(20)은 P형 반도체층(22), I형 반도체층(24) 및 N형 반도체층(26)을 포함한다. 예컨대, 수소화된 비정질 실리콘은 P형 또는 N형의 도전형 제어가 가능하다. 그러므로 상기 수소화된 비정질 실리콘을 P형과 N형으

로 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.

[0028] 따라서, PN 접합 구조 사이에 약 0.5㎛ 두께의 I형 반도체층(24)을 개재하여 PIN 접합 구조로 형성한다. I형 반도체층(24)은 고저항을 가지며, I형 반도체층(24)에 가해지는 내부전계에 의해 빛에 따라 생성된 전자와 정공을 빠르게 각각 P형 반도체층(22)과 N형 반도체층(26)으로 유입시킨다.

[0029] 또한, 수소화된 비정질 실리콘에서는 원자배열의 장거리 질서가 없으므로 광학천이시 파수보존이 필요 없다. 그러므로 간접천이형에서 파수보존을 위해서 포논의 도움이 필요한 결정질 실리콘 대비, 흡수단의 고에너지축에서 큰 흡수계수를 가지므로 약 0.5㎛의 두께정도로 얇은 광전변환층(20)을 형성할 수 있다.

[0030] P형 반도체층(22)의 하부면은 제 1 투명전극층(10)의 상면과 접하고, N형 반도체층(26)의 상부면은 제 2 투명전극층(30)의 하면과 접한다. 여기서, P형 반도체층(22) 및 N형 반도체층(26)과 접촉하는 투명전극층의 종류는 제조과정에 따라 서로 달라질 수도 있다.

[0031] 제 1 투명전극층(10)은 예를 들어, ZnO:Al(Al doped zinc oxide), ITO(Indium Tin Oxide), FTO(Flourine doped Tin Oxide) 등과 같은 투명한 전도성 산화물을 사용할 수 있다. 제 1 투명전극층(10)으로서 상기 투명한 전도성 산화물을 사용하되, 제 1 투명전극층(10)이 구조적으로 단단한 재료일 경우, 즉, BIPV용으로서, 외부의 충격 등에 강한 재질일 경우, 제 1 투명전극층(10) 자체를 전극과 기판용도로 사용할 수 있다.

[0032] 제 1 투명전극층(10) 상부 표면의 적어도 일부는 텍스처링(texturing) 할 수 있다. 양면 수광형 태양전지 모듈(100)은 광 트래핑(light trapping) 구조를 사용하여 광전변환효율을 향상시킨다. 상기 광 트래핑 구조는 광 흡수를 위해 광의 경로 길이를 증가시켜 더 많은 광 생성 전류를 생성할 수 있다. 즉, 제 1 투명전극층(10) 표면의 적어도 일부에 텍스처링하여 입사광을 효과적으로 산란시켜 출력 전류를 개선하게 된다. 일반적으로, 양면 수광형 태양전지 모듈(100)의 효율을 높이기 위해 광이 입사되는 입사부에 헤이즈(haze)를 높여서 빛이 최대한 많이 흡수되도록 빛을 산란시킨다. 따라서 상기 헤이즈가 높을수록 양면 수광형 태양전지 모듈(100)의 광전변환효율도 증가하는 경향을 보인다.

[0033] 양면 수광형 태양전지 모듈(100)의 광전변환효율은 상술한 바와 같이, 1sun 기준으로 측정을 한다. 하지만, 실질적으로 양면 수광형 태양전지 모듈(100)의 표면에 광이 수직으로 입사되는 경우는 많지 않다. 오히려, 1sun 기준보다 상대적으로 더 낮은 조도에서 양면 수광형 태양전지 모듈(100)의 광전 변환 시간이 더 길고, 이때 생성되는 전력이 더 많을 것이다. 종래에는 1sun 기준으로 헤이즈가 높을수록 광전변환효율이 높다는 전제하에 양면 수광형 태양전지 모듈(100)의 헤이즈를 항상 높이는 방법만을 제시했다.

[0034] 반면, 본 발명에서는 1sun 미만의 낮은 조도에서는 양면 수광형 태양전지 모듈(100)의 헤이즈가 낮을수록 광전변환효율이 증가하는 것을 확인할 수 있었다. 이는 1sun 미만의 낮은 조도에서는 텍스처링을 형성하는 시간의 증가로 인해 증가되는 광 수집 보다, 제 1 투명전극층(10)의 표면 거칠기로 광전변환층(20) 내의 결함에 기인한 전자와 홀의 재결합에 의한 손실이 더 많이 발생하는 것으로 판단된다. 즉, 높은 표면거칠기를 갖는 광 트래핑 구조는 균일하고 완벽한 활성층의 성장을 방해하게 되어, 생성된 캐리어가 박막 내에서 재결합되어 의도하지 않게 출력 전류를 감소시키는 결함을 유발할 수 있다.

[0035] 여기서, 제 1 투명전극층(10)의 표면 텍스처링은 예를 들어, 0.5mol% 농도의 염산(HCl)을 이용하여 에칭(etching) 시간을 제어함으로써 헤이즈를 원하는 형태로 형성할 수 있다. 상기 에칭 시간은 제 1 투명전극층(10)의 두께에 따라 상이하게 제어되며, 에칭 용액의 종류에 따라서도 다르게 제어된다.

[0036] 한편, 제 2 투명전극층(30)은 산화물-금속-산화물(Oxide-Metal-Oxide, 이하 OMO 구조) 적층구조를 가지며, 제 1 AZO 박막(32), 산화은(AgOx) 박막(34) 및 제 2 AZO 박막(36)이 순서대로 적층된 형태일 수 있다. 투명한 전도성 산화물층 사이에 높은 전도성을 가진 금속 박막을 가진 다층 전극을 삽입한 OMO 구조는 기존 전극의 형성 대비 상대적으로 저온 공정을 이용하여 제작할 수 있다.

[0037] 제 2 투명전극층(30)은 예를 들어, 스퍼터링 방식을 이용하여 형성할 수 있다. 먼저, 알루미늄이 도핑된 산화아연(AZO) 타겟을 이용하여 광전변환층(20) 상에 제 1 AZO 박막(32)을 형성하는 단계, 은(Ag) 타겟을 이용하여 제 1 AZO 박막(32) 상에 산화은(AgOx) 박막(34)을 형성하는 단계 및 알루미늄이 도핑된 산화아연(AZO) 타겟을 이용하여 산화은(AgOx) 박막(34) 상에 제 2 AZO 박막(36)을 형성하는 단계를 포함할 수 있다.

[0038] 상기 스퍼터링 방식은, 챔버 내에 공정가스를 공급하고, 은(Ag) 타겟에 고전압을 인가함으로써 광전변환층(20)

상에 산화은(AgOx) 박막(34)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 불활성 가스는 아르곤, 질소 또는 이들의 혼합가스를 포함한다.

[0039] 한편, 상기 공정가스 내 산소가스의 분압은 5% 내지 20%의 범위에서 제어되어 산화은 박막(34)을 형성할 수 있으나, 제 1 AZO 박막(32), 제 2 AZO 박막(36)의 두께에 따라서 산화은 박막(34)의 두께가 제어될 수 있고, 산소가스의 분압에 의해 전도도 및 투과도가 각각 변화하게 된다. 따라서, 공정가스 내 산소가스의 분압은 제 2 투명전극층(30)을 구성하는 다층 박막들의 두께에 따라 조절되며, 바람직하게는 10% 내지 15%일 수 있으며, 더 바람직하게는 11% 내지 14%의 범위일 수 있다.

[0040] 제 1 AZO 박막(32) 및 제 2 AZO 박막(36)은 알루미늄(Al)이 도핑된 산화아연(Zinc Oxide) 박막(AZO)으로서, 경우에 따라 전면전극층으로 사용된 제 1 투명전극층(10)과 동일한 재료를 사용할 수도 있다.

[0041] 산화은 박막(34)은 예를 들어, 금속 중에서 가장 작은 저항성을 갖는 은(Ag)을 사용하되, 순수한 은(Ag)이 아닌 소정 량의 산소가 도핑된 은(Ag)을 포함한다. 이를 AgOx로 표현할 수 있으며, 상기 AgOx에서 x는 임의의 실수로서, 산소의 함유량에 따라 달라진다.

[0042] 한편, OMO 구조를 갖는 제 2 투명전극층(30)의 전도도와 투과율은 제 1 AZO 박막(32), 산화은 박막(34) 및 제 2 AZO 박막(36)의 두께로 결정된다. 여기서, 산화은 박막(34)은 가장 중요한 요소로서, 종래에 사용되던 은(Ag) 박막 대비 높은 광 투과도와 우수한 전기적 특성을 갖는다.

[0043] 은(Ag)은 입자 성장 초기에 은 금속 원자가 별개의 섬으로 형성된다. 그러나 특정 임계 두께에서, 전기 저항 및 광흡수는 은(Ag) 박막의 두께 감소와 함께 급격하게 증가한다. 예를 들면, 이 임계 두께보다 크면 은(Ag) 박막의 두께에 따라 전기 저항이 감소하는 반면, 가시광 및 근적외선 영역에서 은(Ag) 박막의 강한 반사 때문에 투과율이 급격히 떨어진다. 이를 해결하기 위해서, 은(Ag) 박막 내에 산소(Oxygen) 성분을 도핑함으로써, 전기적 특성의 큰 손실이 없이 가시광 파장 대역에서의 투과율을 향상시켰다.

[0044] 산화은 박막(34) 내에 도핑된 산소의 함량에 따라 은(Ag)와 함께 은(Ag)의 산화물, 예컨대, Ag_2O 이나 AgO가 함께 공존할 수 있다. 은(Ag)의 경우, 표면에너지가 큰 금속으로서, 박막 성장시 표면에너지를 최소화하기 위해서 안정된 상태의 구형의 아일랜드 형태를 이루게 된다. 이 경우, 박막 두께를 줄이는데 한계점으로 작용함과 동시에 박막의 표면거칠기를 증가시킨다. 본 발명에서는 이와 같은 아일랜드 성장을 억제하기 위해서 은(Ag) 박막을 증착할 때, 반응성 가스로 산소가스를 공급할 수 있다.

[0045] 상술한 구조를 갖는 양면 수광형 태양전지 모듈(100)은 건축물의 적어도 일부 외벽에 형성되어 BIPV용 태양광 발전 시스템으로 이용될 수 있다.

[0046] 도 2 내지 도 5는 본 발명의 일 실시예에 따른 태양광 발전 시스템을 설명하기 위해 건축물에 부착된 양면 수광형 태양전지 모듈의 구조를 개략적으로 도해하는 도면이다.

[0047] 도 2를 참조하면, 태양광 발전 시스템은 복수의 태양광 패널로 이루어지며, 상기 복수의 태양광 패널은 예를 들어, OMO(oxide-metal-oxide) 전극구조를 갖는 양면 수광형 태양전지 모듈(100)을 포함할 수 있다. 상기 복수의 태양광 패널은 건축물(200)의 적어도 일부 외벽 영역에 형성될 수 있다. 여기서, 상기 복수의 태양광 패널의 표면거칠기는 건축물(200)에 부착되는 위치에 따라 각각 상이하고, 상기 복수의 태양광 패널은 모듈의 종류 및 효율에 따라 직렬로 연결이 가능하며, 혹은 전류를 고려하여 병렬로 연결될 수 있다. 즉, 광 입사량이 상대적으로 높은 영역에 부착되는 태양광 패널의 표면조도와 광 입사량이 상대적으로 낮은 영역에 부착되는 태양광 패널의 표면조도 차이에 따라 상기 복수의 태양광 패널의 표면거칠기를 각각 상이하게 제어하게 된다. 표면거칠기를 상이하게 제어하는 것은 건축물(200)의 배치방향에 따라서 결정된다. 이에 대한 구체적인 설명은 하기 도 3 내지 도 5를 참조하여 후술한다. 여기서, 양면 수광형 태양전지 모듈(100)의 구조는 도 1과 동일한 형태이기 때문에, 도 3 내지 도 5에서는 편의상 기판(40)과 제1 투명전극층(10)에 대해서만 표시하였다.

[0048] 도 3을 참조하면, 건축물(200)의 상면에서 바라봤을 때, 건축물(200)의 방향이 정남향일 경우, 건축물(200)의 외벽의 엣지(edge)에서부터 중앙 부분으로 갈수록 복수의 태양광 패널의 표면거칠기가 상대적으로 높아지도록 건축물(200)의 외벽에 복수개의 OMO 전극구조를 갖는 양면 수광형 태양전지 모듈(100)을 형성할 수 있다. 건축물(200)에 부착된 양면 수광형 태양전지 모듈(100)을 확대한 도면을 참조하면, 광이 수직으로 입사되어 가장 높은 광량이 수집되는 건축물(200)의 가운데 부분 즉, 건축물(200)의 중앙 부분으로부터 외벽의 엣지쪽으로 갈수록 기판(40) 상에 형성된 제 1 투명전극층(10)의 표면거칠기가 상대적으로 낮아지도록 설계할 수 있다.

[0049] 도 4를 참조하면, 건축물(200)의 측면에서 바라봤을 때, 건축물(200)의 외벽의 아래층에서부터 윗층으로 갈수록 복수의 태양광 패널의 표면거칠기가 상대적으로 높아지도록 건축물(200)의 외벽에 복수개의 OMO 전극구조를 갖는 양면 수광형 태양전지 모듈(100)을 형성할 수 있다. 건축물(200)에 부착된 양면 수광형 태양전지 모듈(100)을 확대한 도면을 참조하면, 가장 높은 광량이 수집되는 건축물(200)의 윗 부분 즉, 건축물(200)의 윗층 부분으로부터 아래층 부분으로 갈수록 기판(40) 상에 형성된 제 1 투명전극층(10)의 표면거칠기가 상대적으로 낮아지도록 설계할 수 있다.

[0050] 도 5를 참조하면, 건축물(200)의 상면에서 바라봤을 때, 건축물(200)의 방향이 남동향 혹은 남서향일 경우, 건축물(200)의 외벽의 일측 엣지(edge) 부분에서부터 타측 엣지(edge) 부분으로 갈수록 상기 복수의 태양광 패널의 표면거칠기가 상대적으로 높아지도록 건축물(200)의 외벽에 복수개의 OMO 전극구조를 갖는 양면 수광형 태양전지 모듈(100)을 형성할 수 있다. 건축물(200)에 부착된 양면 수광형 태양전지 모듈(100)을 확대한 도면을 참조하면, 광이 수직으로 입사되어 가장 높은 광량이 수집되는 건축물(200)의 외곽 부분 즉, 건축물(200)의 외벽의 일측에 위치한 엣지 부분으로부터 반대쪽인 타측에 위치한 엣지 부분으로 갈수록 기판(40) 상에 형성된 제 1 투명전극층(10)의 표면거칠기가 상대적으로 낮아지도록 설계할 수 있다.

[0051] 여기서, 태양이 정남향에 위치했을 때, 태양광이 건축물(200)에 수직으로 입사되는 위치를 기준으로, 표면 거칠기가 가장 거친 양면 수광형 태양전지 모듈(100)을 배치할 수 있다. 또, 상기 기준을 벗어나는 위치부터 거리가 멀어질수록 먼 위치까지 표면 거칠기가 점차적으로 낮은 양면 수광형 태양전지 모듈(100)을 배치하여 광전변환효율의 총합이 최대치를 만족하도록 태양광 발전 시스템을 설계할 수 있다.

[0052] 이하에서는, 본 발명의 이해를 돕기 위해, 광이 입사되는 조도에 따른 광전변환효율의 변화를 확인하기 위한 실험예들을 설명한다. 다만, 하기의 실험예들은 본 발명의 이해를 돕기 위한 것일 뿐, 본 발명이 아래의 실험예들만으로 한정되는 것은 아니다.

[0053] <실험예>

[0054] 1.8㎜ 두께(50×50㎟)의 소다라임글라스(soda lime glass) 상에 DC 펄스 마그네트론 스퍼터링 방법으로 1㎛ 두께의 ZnO:Al 박막(Al 1wt%)을 증착하였다. 이후에 0.5mol% 농도의 HCl 용액을 이용하여 ZnO:Al 박막의 표면을 에칭하였으며, 이때, 에칭시간은 각각 5s, 10s, 15s 및 20s로 제어하였다. 각각의 에칭조건에서 에칭되어 텍스처링된 ZnO:Al 박막이 구비된 기판 상에 p^+-a-SiOx:H(5nm), p-a-SiOx:H(10nm), i^+-a-Si:H(20nm), i-a-Si:H(280nm), n-a-SiOx:H(5nm), n-μc-SiOx:H(30nm), ZnO:Al(50nm), Ag(8nm) 및 ZnO:Al(50nm)을 순차적으로 증착하여 OMO 전극구조를 갖는 양면 수광형 태양전지 샘플을 각각 제조하였다. 여기서, 수소화된 비정질 실리콘 박막은 다중 챔버 클러스터 시스템에서 수행되었으며, P형의 수소화된 비정질 실리콘 박막층은 13.56㎒의 주파수 조건에서 B_2H_6, PH_3 및 CO_2의 도판트 가스의 혼합물을 이용하여 증착되었다. I형의 수소화된 비정질 실리콘 박막층은 40.68㎒의 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. OMO 전극구조는 DC 펄스 마그네트론 스퍼터링 방법으로 형성했다.

[0055] 이후에 각 실험예 샘플들은, 자외선-가시광선 분광광도계(Cary 5000, Varian)를 사용하여 에칭된 ZnO:Al 박막의 광학적 특성을 측정하였으며, 엘립소미터를 사용하여 각 박막의 두께를 측정하였다.

[0056] 4-프로브시스템(MCP-T600, 미츠비시 케미칼 컴퍼니)을 사용하여 ZnO:Al 박막의 전기적 특성을 측정하였고, 박막의 표면 모폴로지는 원자력현미경(AFM, NX10, Park System) 및 전계방출형 투과전자현미경(JEM-2100F HR, JEOL Ltd.)으로 분석하였다.

[0057] 또한, 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(h), 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.

[0058] 도 6은 본 발명의 실험예에 따른 양면 수광형 태양전지 샘플에서 에칭시간별 ZnO:Al 박막의 표면 모폴로지를 측정한 결과이다.

[0059] 먼저, 도 6을 참조하면, 에칭시간이 증가할수록 ZnO:Al 박막의 표면 거칠기가 증가하는 것을 확인할 수 있다. 분화구 형태의 크기와 밀도는 에칭시간으로 제어 가능하며, 화학적으로 에칭된 박막의 표면은 빛을 효과적으로 산란시킬 수 있다. 이는 도 3의 (B) 및 (C)에 도시된 그래프를 통해서도 확인할 수 있었다. 화학적 에칭의 결과

로 ZnO:Al 박막의 평균 표면 거칠기(R_{avg})와 표면적은 각각 18.4nm 에서 41.67㎚ 로, 102.02μm^2 에서 116.27μm^2 로 증가했다.

[0060] 도 7은 본 발명의 실험예에 따른 양면 수광형 태양전지 샘플에서 에칭시간별 ZnO:Al 박막의 광학적 특성을 분석한 결과이다.

[0061] 먼저, 도 7의 (A)를 참조하면, 에칭시간에 관계없이 가시광 파장 대역에서 유사한 평균 투과율(T_{avg})을 보여주고 있으며, 각 샘플별로 0s 에서 20s 까지 변할 때, 74.8 %, 73.8 %, 73.7 %, 73.6 % 및 73.4 %을 나타내고 있다. 에칭을 수행하지 않은 샘플과 비교하면 에칭시간이 증가함에 따라 ZnO:Al 박막의 표면 거칠기가 증가했고, 이에 따라 광 산란 효과가 증가하는 것을 확인할 수 있었다.

[0062] 또한, 도 7의 (B)에 도시된 바와 같이, 헤이즈(Haze) 값도 에칭시간이 증가함에 따라 가시광 파장 대역(400nm 내지 600nm)에서 각각 3.4%, 8.8%, 11.6% 및 14.6%로 증가했다. 따라서, 광 산란이 광 경로를 증가시키거나 광전변환층에서 광을 포획하여 태양전지에서 광의 흡광도를 향상시킬 수 있기 때문에, 더 많은 광 생성 캐리어가 생성될 것으로 예상했다.

[0063] 반면, 도 7의 (C)를 참조하면, 에칭시간이 증가함에 따라 ZnO:Al 박막의 두께는 1110nm 에서 963nm로 감소했으나, 면저항은 6.89 Ω/□ 에서 8.48 Ω/□ 로 증가했다. 이는 ZnO:Al 박막의 에칭으로 인한 광 트래핑 효과에 의해 광학적으로 이점을 갖지만, ZnO:Al 박막이 과도하게 에칭되면 전면 투명 전극의 원치않는 전기 손실을 유발할 수 있다는 것을 확인할 수 있었다. 따라서 최적의 태양전지의 광전변환특성을 얻기 위해서 광학적 이득과 전기적 손실을 모두 고려해야 한다.

[0064] 도 8은 본 발명의 실험예에 따른 양면 수광형 태양전지 샘플의 ZnO:Al 박막의 에칭시간별 빛이 입사되는 조도에 따른 광전변환특성 및 단락전류 특성을 분석한 결과이다.

[0065] 먼저, 도 8을 참조하면, 빛이 입사되는 조도에 따라 에칭시간에 따라 가장 높은 광전변환효율을 갖는 샘플의 종류가 상이한 것을 확인할 수 있었다. 즉, 1.0 sun 조건에서 에칭시간이 20s로 진행된 샘플에서 광전변환효율이 가장 높게 측정되었다. 반면, 0.1 sun 조건에서 에칭시간이 10s인 샘플에서 광전변환효율이 가장 높게 측정되었다. 이때의 단락전류밀도(J_{SC})는 도 5의 (B)에 표시된 것처럼 광전변환효율(PCE)과 가장 유사한 동작을 나타내는 것을 확인할 수 있었다. 일반적으로 태양전지에서 광 트래핑은 광 흡수를 증가시키는 것으로 알려져 있으므로, J_{SC} 값은 광 트래핑의 양이나 에칭 시간에 따라 증가해야 한다. 하지만, 도 5의 (B)에 도시된 J_{SC}의 동작은 광 트래핑 속성으로 설명되지 않으며, 다른 메커니즘이 더 포함되어 있는 것으로 판단된다. 이하에서 다른 분석 결과를 토대로 이에 대해서 구체적으로 후술한다.

[0066] 도 9는 본 발명의 실험예에 따른 양면 수광형 태양전지 샘플의 ZnO:Al 박막의 에칭시간별 빛이 입사되는 조도에 따른 저항 특성을 분석한 결과이다.

[0067] 먼저, 도 9의 (A)를 참조하면, 에칭 시간이 증가함에 따라 션트저항(R_{sh})이 감소하는 것을 확인할 수 있었다. 1 sun 조건에서 션트저항 값은 작지만(즉, 전류 손실이 큼) 션트저항의 변화는 낮은 조도에 비해 광 트래핑의 차이에 대해 훨씬 작은 것을 확인할 수 있었다. 따라서, 1 sun 조건에서 광전변환효율과 단락전류는 광 트래핑 효과에 의해 예상대로 증가했다.

[0068] 그러나 광 조도가 감소함에 따라 션트저항의 변화가 증가하여 광전변환효율이 증가하고, 단락전류는 광 트래핑 효과보다 션트저항 값(전류 손실)에 더 많이 의존하게 된다. 따라서 1.0 sun 미만의 조건에서 최대 광전변환효율 및 단락전류는 최대치의 광 트래핑 구조(ZnO:Al 박막의 표면 거칠기가 가장 거친 구조)가 아니라 광의 강도와 션트저항 값이 균형을 이룬 구조에서 얻어지는 것을 확인할 수 있었다.

[0069] 이러한 광 강도에 대한 션트저항 거동은 광 트래핑 구조 없이 제작된 태양전지(ZnO:Al 박막의 에칭 없이 제조된 구조)에서 측정된 저항 값으로 노말라이징(normalized)될 때, 더 잘 나타나는 것을 확인할 수 있었다. 도 9의 (B)에 도시된 바와 같이, 노말라이징 된 션트저항 값은 광 트래핑 구조의 입사되는 광의 강도에 따라 선형적으로 증가하고, 에칭 시간이 증가할수록 기울기도 증가하는 경향을 나타내었다. 즉, 이는 낮은 조도 조건에서 션트저항 값의 손실이 심각 할 수 있음을 의미하며, 이에 따라 태양전지의 광전변환특성에 영향을 많이 미칠 수 있음을 확인할 수 있었다.

[0070] 도 10은 본 발명의 실험예에 따른 양면 수광형 태양전지 샘플의 ZnO:Al 박막의 에칭시간별 외부양자효율(EQE)

및 개방전압(Voc)을 측정한 결과이다. 여기서, 상기 외부양자효율(EQE)은 -1V의 역 바이어스 전압에서 측정된 외부양자효율(EQE)을 400nm 내지 780nm 파장 대역에서 제로 바이어스 전압에서의 외부양자효율(EQE)의 비율을 의미한다.

[0071] 도 10의 (A)를 참조하면, 에칭 시간이 증가함에 따라 결함과 상대적인 전류 손실이 증가하는 것을 확인할 수 있었다. 또, 재결합 손실이 전체파장 대역에서 비교적 균일하게 관찰되기 때문에 전체 광전변환층 내에 결함이 존재하는 것을 확인할 수 있었다. 여기서, 재결합 동역학은 빛에 대한 다이오드의 이상 계수(n)를 추정 할 수 있는 도 10의 (B)와 같이 광 강도에 대한 태양 전지의 개방전압(Voc)의 의존성으로 확인할 수 있다. 일반적으로, 다이오드 전류 성분의 경우 n의 값은 확산 전류의 경우 1이고, 다이오드 접합부의 재결합 전류의 경우 2를 나타낸다. 다시 도 10의 (B)를 참조하면, 추출된 n 값은 에칭 시간이 5s 에서 20s 로 증가함에 따라 1.87 에서 2.01로 증가하는 것을 확인할 수 있었고, 이에 따라 에칭 시간이 증가함에 따라 재결합으로 인한 전류 손실이 커지는 것을 확인할 수 있었다.

[0072] 도 11은 본 발명의 실험예에 따른 양면 수광형 태양전지 샘플의 ZnO:Al 박막의 에칭시간별 전기적 특성(J/I_L, α_E 및 J_{Loss})을 측정한 결과이다.

[0073] 도 11을 참조하면, J/I_L 곡선은 광의 세기(I_L)이 증가함에 따라 포화되고 포화 값은 에칭 시간에 따라 증가하는 반면 변곡점은 오른쪽으로 이동되는 것을 확인할 수 있었다. 도 11의 (A)에 도시된 J/I_L 곡선을 사용하여 도 11의 (B)와 같이 흡광도(α_E) 및 손실 매개 변수(J_{Loss})를 추출해보면, 에칭 시간이 증가함에 따라 태양전지의 전체 흡광도가 증가하나, 에칭 시간의 증가에 따른 결함이 증가함에 따라 전류 손실이 증가될 수 있다는 것을 보여주고 있다.

[0074] 도 12는 본 발명의 실험예에 따른 양면 수광형 태양전지 샘플의 ZnO:Al 박막의 에칭시간별 미세구조를 분석한 결과이다.

[0075] 도 12를 참조하면, 에칭을 수행하지 않은 샘플에서는 결함이 발견되지 않았으나, 20s 동안 에칭을 수행한 샘플에서는 광전변환층인 a-Si:H 층에서 미세한 균열이 발견되어 전체 광 생성 캐리어의 재결합에 의한 손실이 발생할 수 있는 것을 확인할 수 있었다. 이는 도 10에 도시된 외부양자효율 결과와 일치한다는 것을 재확인 할 수 있었다. 즉, 실리콘 원자가 거친 표면에 증착되었을 때, 성장하는 클러스터의 경계 근처에서 미세한 균열이 관찰될 수 있으며, 이는 광 생성 캐리어의 재결합 과정을 생성하는 결함으로 보고 되고 있다. 또, 도 6에 도시된 바와 같이, 에칭 시간이 증가함에 따라 계면적을 증가시키는 효과로 인해 결함 수가 증가한 것으로 판단된다. 정리하면, 태양전지 활성층의 계면 영역이 넓어짐에 따라 빈 공간, 적층 결함, 원자의 불일치 등의 결함으로 인해 션트 경로의 수가 증가하게 되어, 계면에서 댕글링 결합이 형성되어 전류가 발생할 수 있다는 점을 고려해야 한다는 것이다.

[0076] 상술한 바와 같이, ZnO:Al 박막의 에칭 시간을 조절하여 헤이즈를 변화시킴으로써, 빛이 입사되는 조도(광량)에 따라 광전변환효율이 어떻게 변화하는지 실험예를 통해서 살펴보았다. 이때, 각 조도에 따라 최대의 효율을 얻을 수 있는 헤이즈 조건이 상이하다는 것을 확인하였다. 0.1 sun의 낮은 조도에서는 에칭 시간이 낮을수록 최대의 광전변환효율을 얻었고, 반면, 1 sun의 높은 조도에서는 에칭 시간이 길수록 최대의 광전변환효율을 얻을 수 있었다. 이는 낮은 조도에서는 에칭으로 인해 증가되는 광포획 보다, 박막 표면의 거칠기로 태양전지 내의 결함에 의한 전자와 홀의 재결합의 의한 손실이 더 많이 발생하는 것으로 판단되며, 제시된 조건을 참조하여, 건축물에 부착되는 태양광 발전 시스템에 적용시 건축물에 부착되는 위치에 따라 태양광 패널 각각의 표면거칠기가 상대적으로 차이가 나도록 배치해야만 종래보다 높은 최대치의 태양광 발전 성능을 얻을 수 있다는 것을 확인할 수 있었다.

[0077] 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

[0078] 10 : 제 1 투명전극층

20 : 광전변환층

22 : P형 반도체층

24 : I형 반도체층

26 : N형 반도체층

30 : 제 2 투명전극층

32 : 제 1 산화물층

34 : 금속층

36 : 제 2 산화물층

40 : 기판

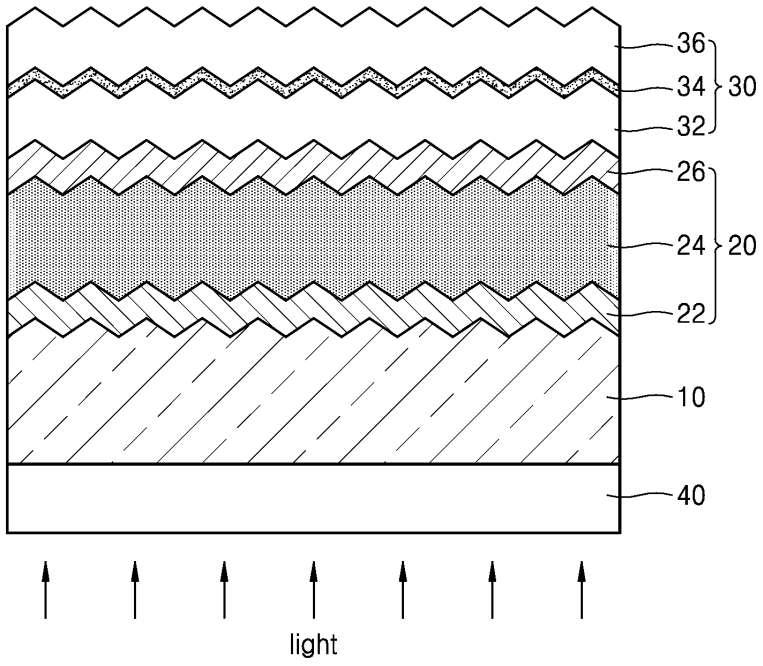
100 : 양면 수광형 태양전지 모듈

200 : 건축물

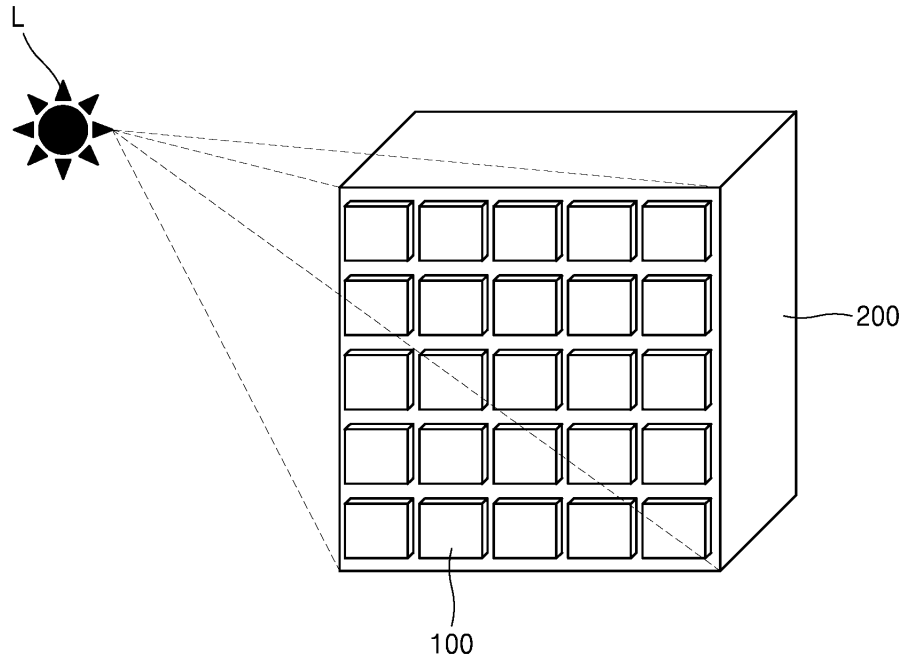
도면

도면1

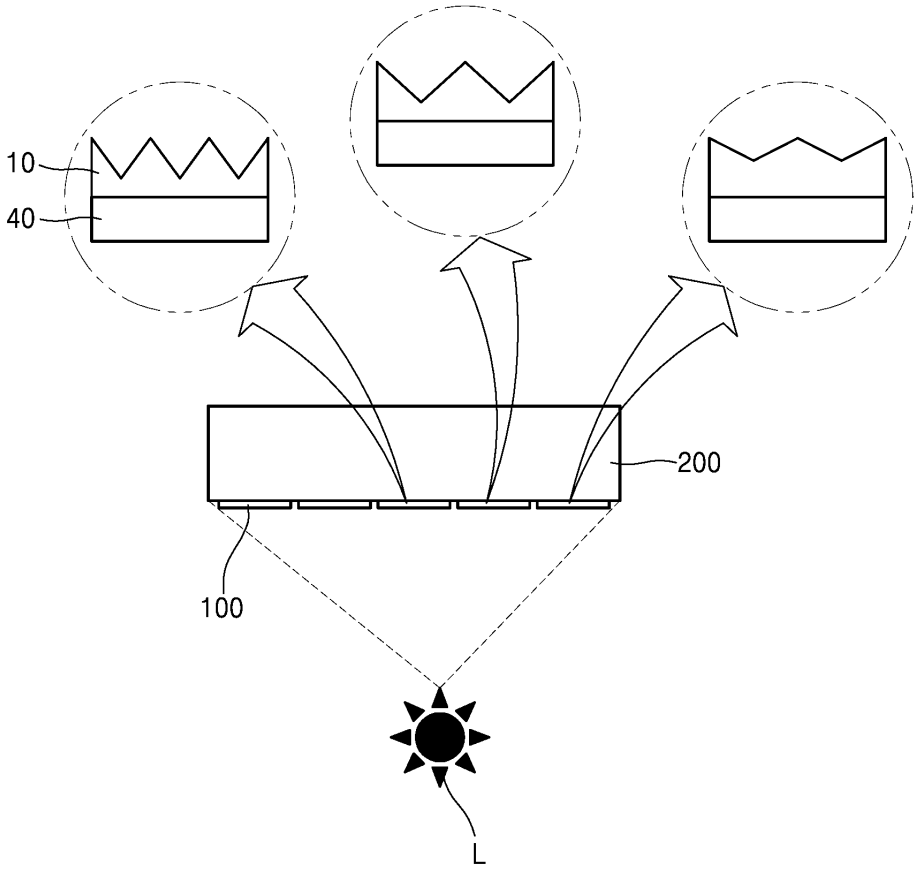
100



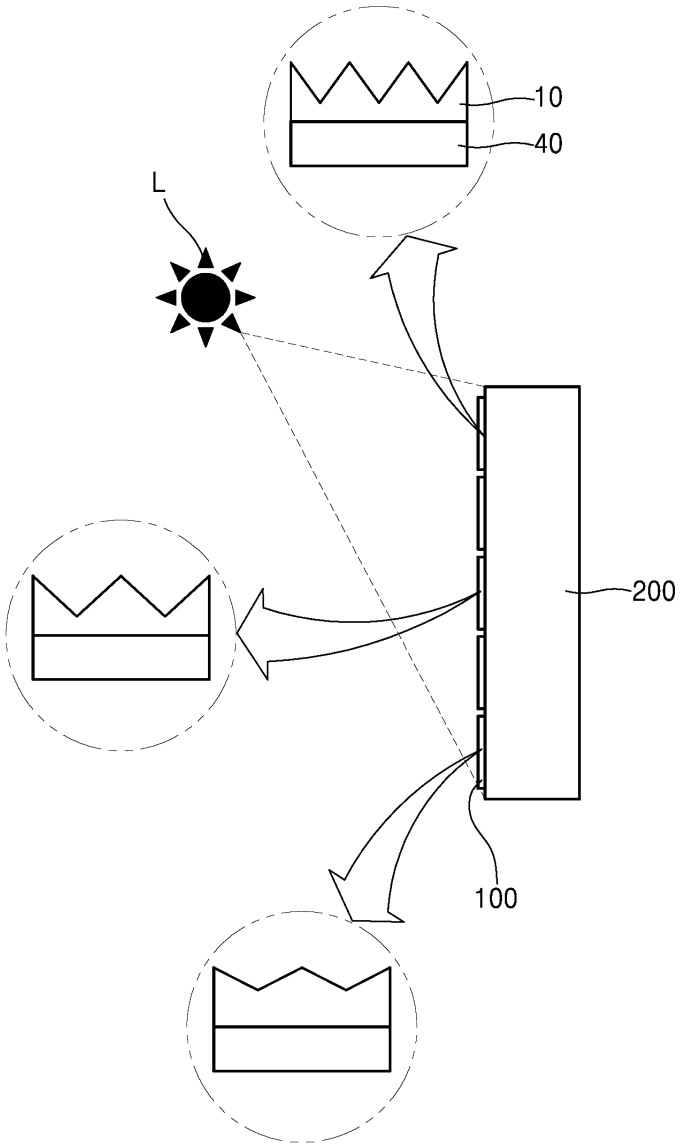
도면2



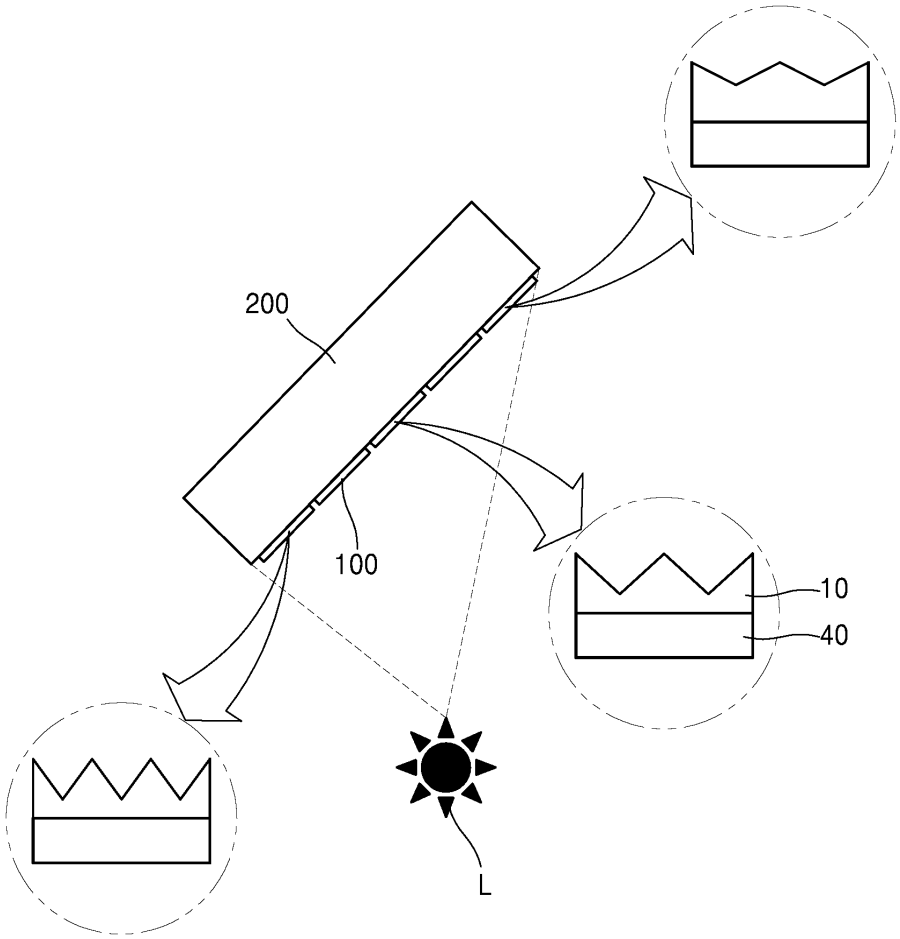
도면3



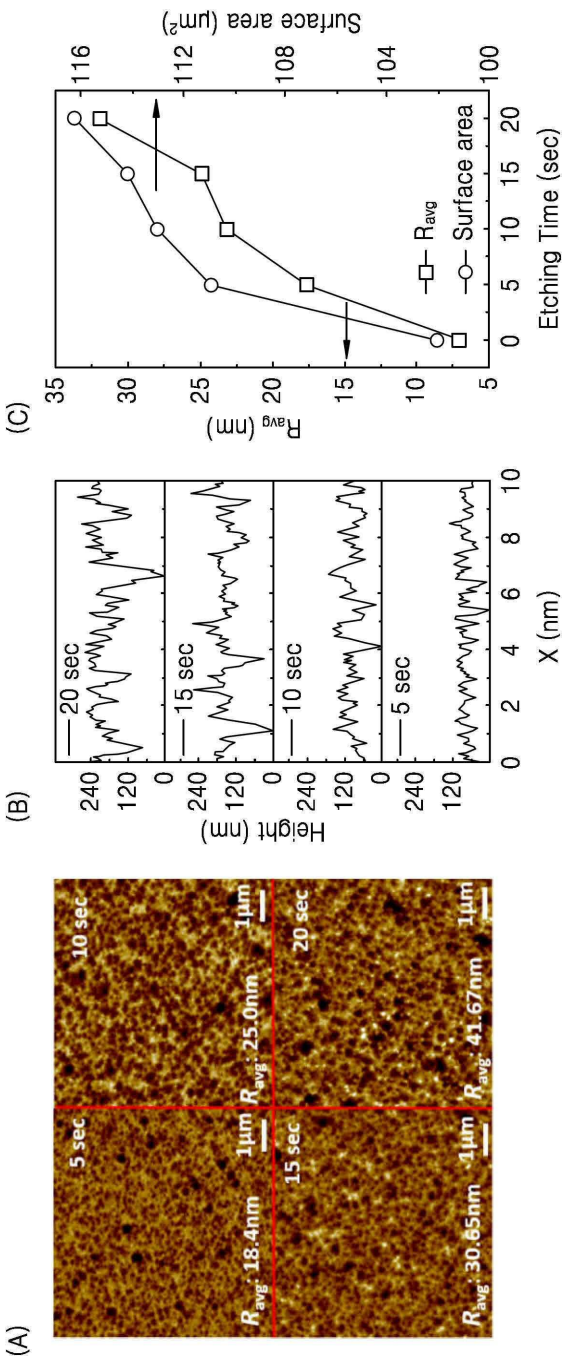
도면4



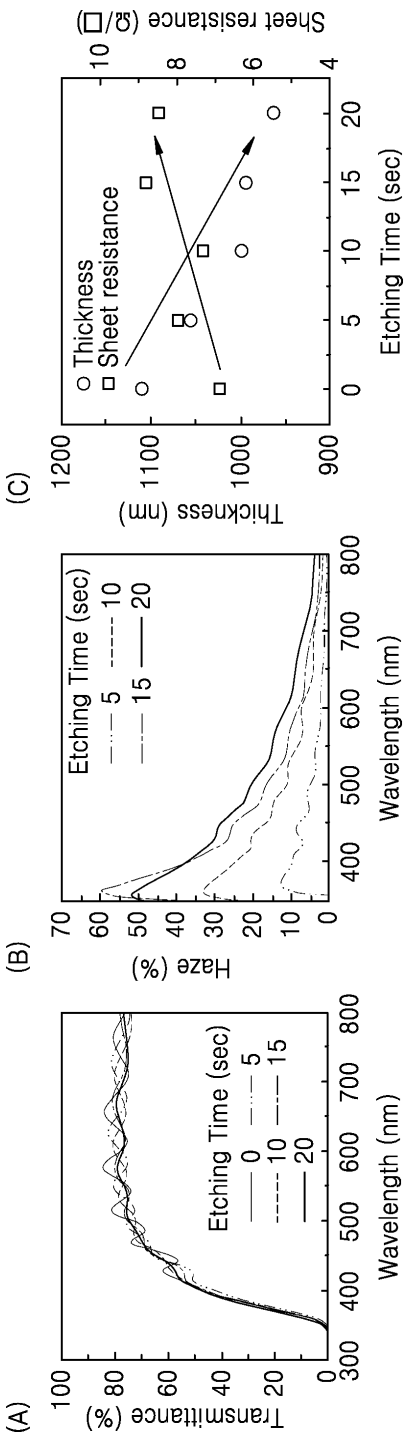
도면5



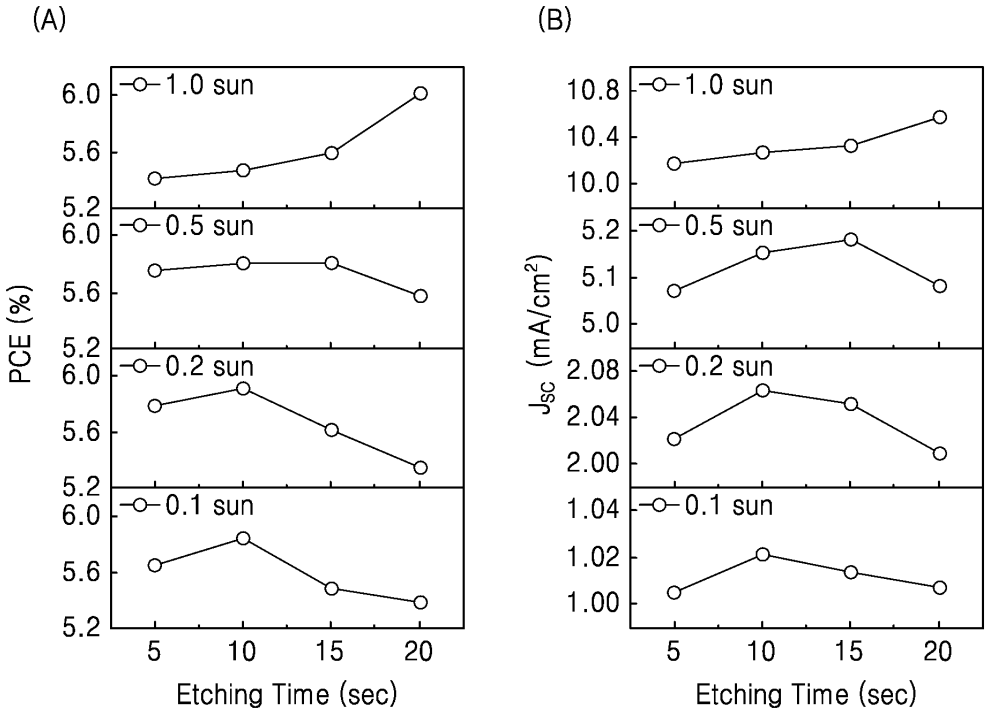
도면6


(A)
5 sec
10 sec
15 sec
20 sec
1μm
R_{avg}: 18.4nm
R_{avg}: 25.0nm
R_{avg}: 30.65nm
R_{avg}: 41.67nm
(B)
Height (nm)
X (nm)
(C)
R_{avg} (nm)
Surface area (μm²)
Etching Time (sec)
R_{avg}
Surface area

도면7

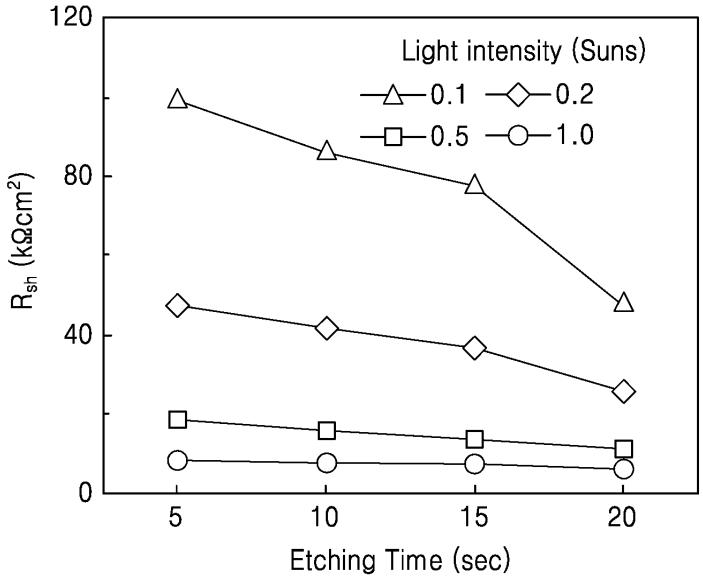

(A)
Transmittance (%)
Wavelength (nm)
Etching Time (sec)
0
5
10
15
20
(B)
Haze (%)
Wavelength (nm)
Etching Time (sec)
5
10
15
20
(C)
Thickness (nm)
Sheet resistance (Ω/□)
Etching Time (sec)
Thickness
Sheet resistance

도면8

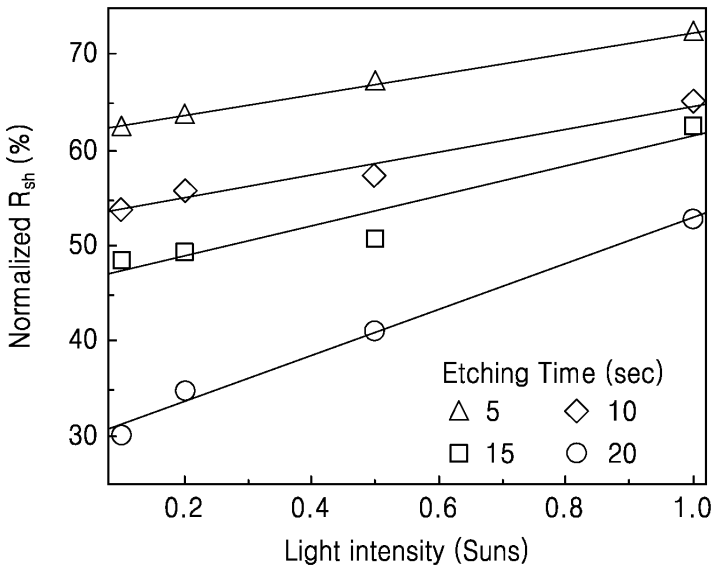

(A)
(B)
1.0 sun
0.5 sun
0.2 sun
0.1 sun
PCE (%)
J_{SC} (mA/cm^2)
Etching Time (sec)
Etching Time (sec)

도면9

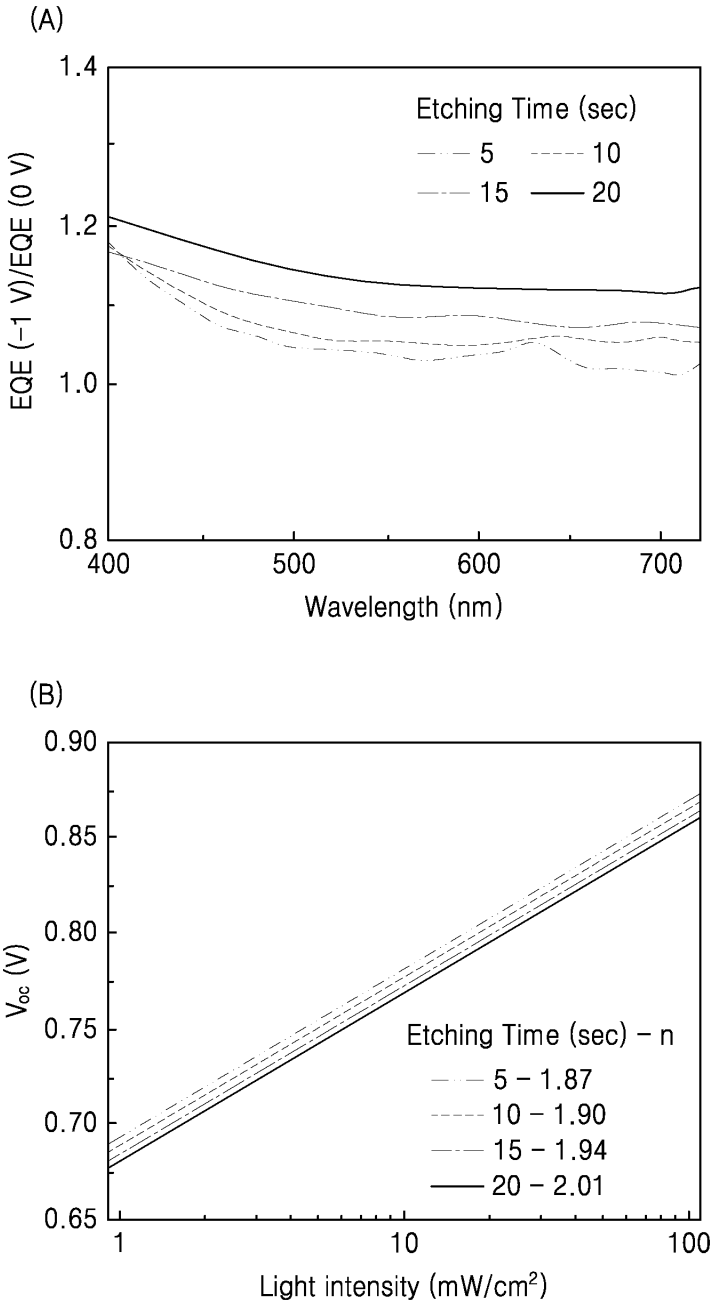
(A)


120
80
40
0
R_{sh} (kΩcm^2)
Light intensity (Suns)
0.1
0.2
0.5
1.0
5
10
15
20
Etching Time (sec)

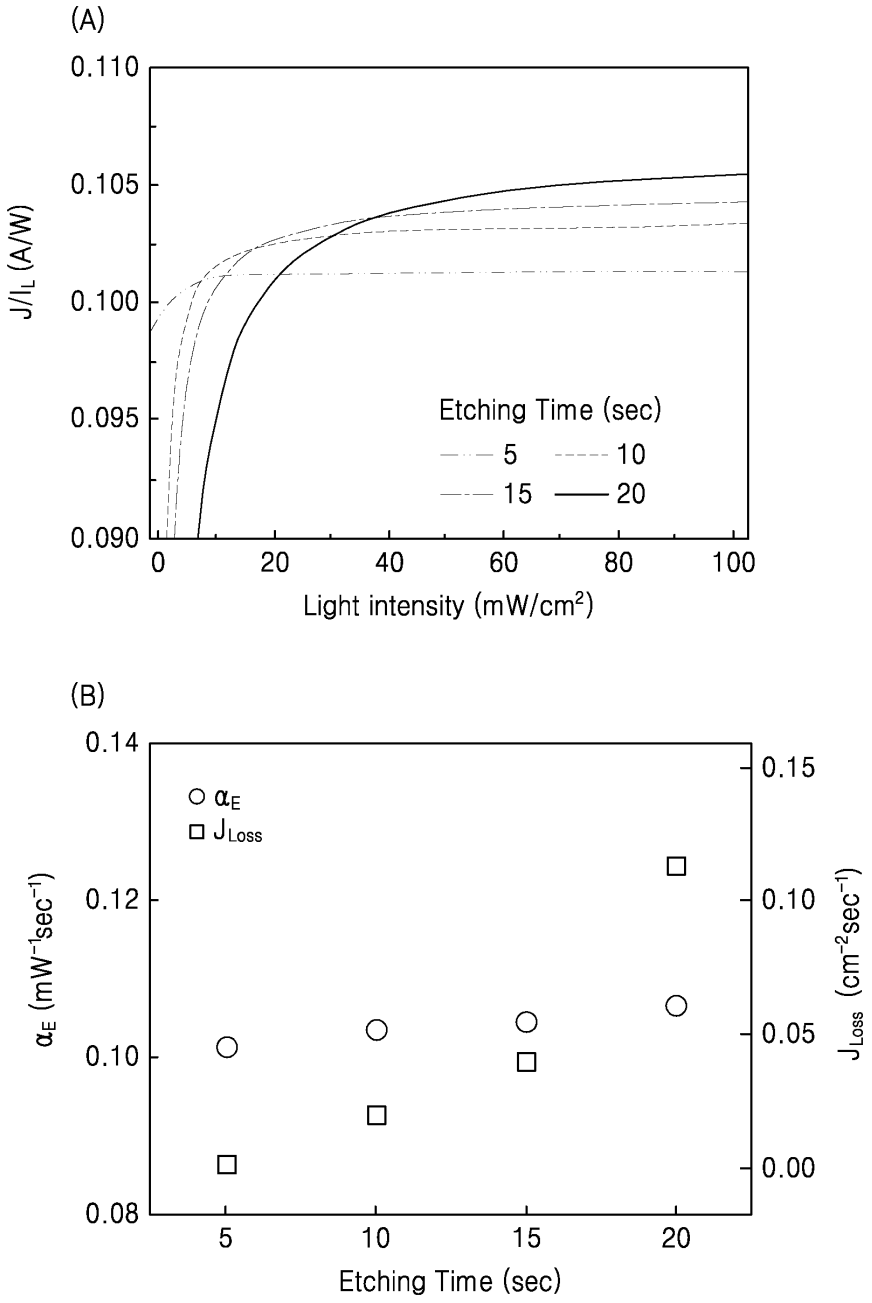
(B)


70
60
50
40
30
Normalized R_{sh} (%)
Etching Time (sec)
5
10
15
20
0.2
0.4
0.6
0.8
1.0
Light intensity (Suns)

도면10

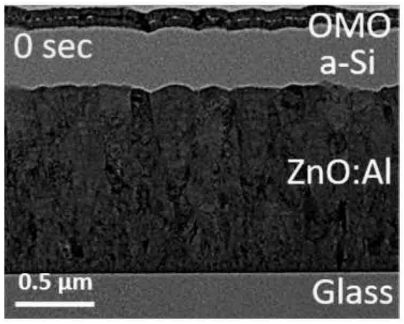

(A)
EQE (-1 V)/EQE (0 V)
1.4
1.2
1.0
0.8
400
500
600
700
Wavelength (nm)
Etching Time (sec)
5
10
15
20
(B)
V_{oc} (V)
0.90
0.85
0.80
0.75
0.70
0.65
1
10
100
Light intensity (mW/cm^2)
Etching Time (sec) – n
5 – 1.87
10 – 1.90
15 – 1.94
20 – 2.01

도면11

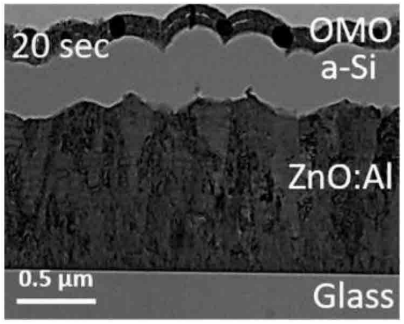

(A)
0.110
0.105
0.100
0.095
0.090
J/I_L (A/W)
0
20
40
60
80
100
Light intensity (mW/cm²)
Etching Time (sec)
5
10
15
20
(B)
0.14
0.12
0.10
0.08
α_E (mW⁻¹sec⁻¹)
0.15
0.10
0.05
0.00
J_Loss (cm⁻²sec⁻¹)
α_E
J_Loss
5
10
15
20
Etching Time (sec)

도면12

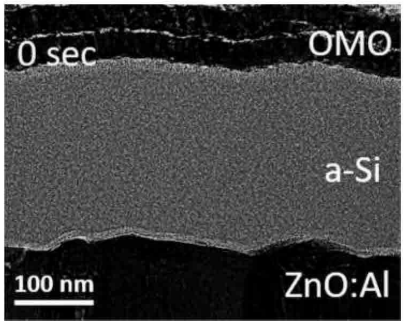
(A)


0 sec
OMO
a-Si
ZnO:Al
0.5 μm
Glass

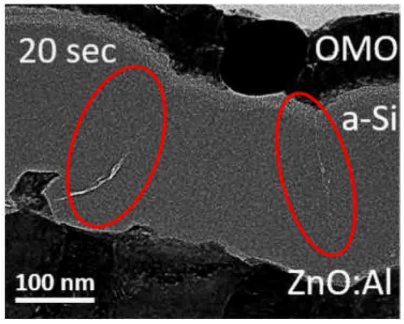
(B)


20 sec
OMO
a-Si
ZnO:Al
0.5 μm
Glass

(C)


0 sec
OMO
a-Si
100 nm
ZnO:Al

(D)


20 sec
OMO
a-Si
100 nm
ZnO:Al