



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2014년12월18일
 (11) 등록번호 10-1473327
 (24) 등록일자 2014년12월10일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
 H01L 31/075 (2006.01) H01L 31/042 (2014.01)
 H01L 31/18 (2006.01)
 (21) 출원번호 10-2013-0007445
 (22) 출원일자 2013년01월23일
 심사청구일자 2013년01월23일
 (65) 공개번호 10-2014-0095605
 (43) 공개일자 2014년08월04일
 (56) 선행기술조사문헌
 KR1020080095288 A*
 JP06244440 A*
 KR1020120115937 A*
 KR100785954 B1
 *는 심사관에 의하여 인용된 문헌

(73) 특허권자
 한국기계연구원
 대전광역시 유성구 가정북로 156 (장동)
 (72) 발명자
 김창수
 경상남도 창원시 성산구 가음정동 재료연구소 아파트 301호
 김동호
 경남 창원시 마산회원구 양덕동17길 22, 2동 802호 (양덕동, 경남아파트)
 (뒷면에 계속)
 (74) 대리인
 이원희

전체 청구항 수 : 총 8 항

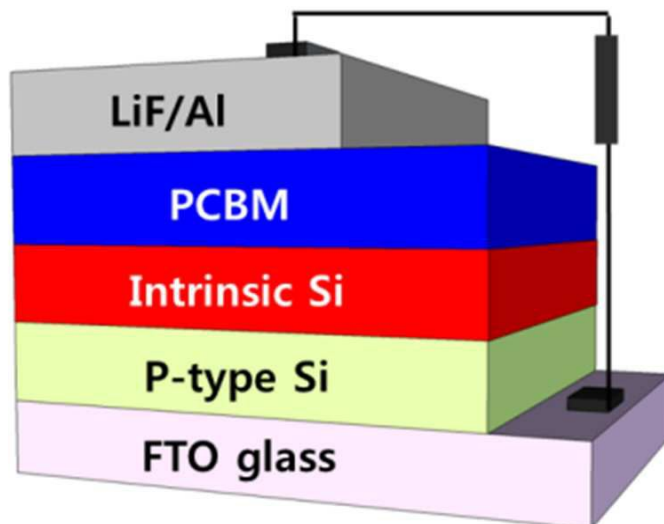
심사관 : 방기인

(54) 발명의 명칭 하이브리드 박막 태양전지 및 이의 제조방법

(57) 요약

본 발명은 하이브리드 박막 태양전지 및 이의 제조방법에 관한 것으로, 상세하게는 기판, 투명전극층, p형 실리콘층, i형(intrinsic) 실리콘층, 플러렌 유도체 층, 및 금속전극층이 순차적으로 적층된 하이브리드 박막 태양전지를 제공한다. 본 발명에 따른 하이브리드 박막 태양전지는 종래의 실리콘 태양전지에서 n-형 반도체로서 사용되었던 n-형 실리콘층을 플러렌 유도체로 대체한 것으로, 상기 플러렌 유도체가 n-형 반도체로서 사용됨에 따라 홀과 전자의 재결합을 방지하는 배리어층 역할을 수행하여 광전변환효율을 향상시킬 수 있는 효과가 있다. 나아가, 종래의 n-형 실리콘층의 형성시에는 PH₃와 같은 유해가스가 사용되었던 것과 비교하여 용액공정을 통해 플러렌 유도층을 형성시킬 수 있어 유해가스 사용에 따른 위험성을 방지할 수 있다.

대표도 - 도2



(72) 발명자

강재욱

경남 창원시 성산구 대암로 253, 111동 405호 (성주동, 일신대동프리빌리지아파트)

정용수

경상남도 창원시 성산구 상남로 48 대우아파트 12동 408호

남기석

경남 창원시 의창구 용지로239번길 19-30, 211동 202호 (용호동, 롯데아파트)

권정대

경남 창원시 성산구 창원대로1209번길 22, 211동 1203호 (성주동, 프리빌리지2차)

박성규

경남 창원시 성산구 원이대로878번길 7, 502호 (가음동, 재료연구소아파트)

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호 PNK3290

부처명 지식경제부

연구관리전문기관 산업기술연구회

연구사업명 주요사업

연구과제명 대면적 실리콘 박막태양전지 핵심소재 공정개발 및 평가 기반 구축(4/5)

기여율 1/1

주관기관 한국기계연구원 부설 재료연구소

연구기간 2013.01.01 ~ 2013.12.31

특허청구의 범위

청구항 1

기판, 투명전극층, p형 실리콘층, i형(intrinsic) 실리콘층, 10 내지 20 nm 두께의 PCBM 층, 및 LiF/Al 전극층이 순차적으로 적층된 하이브리드 박막 태양전지.

청구항 2

LiF/Al 전극층, 10 내지 20 nm 두께의 플러렌 유도체 층, i형(intrinsic) 실리콘층, p형 실리콘층, 및 투명전극층이 순차적으로 적층된 하이브리드 박막 태양전지.

청구항 3

삭제

청구항 4

삭제

청구항 5

삭제

청구항 6

제1항에 있어서, 상기 기판은 투명한 유리 또는 투명한 플라스틱 기판인 특징으로 하는 하이브리드 박막 태양전지.

청구항 7

삭제

청구항 8

제1항 또는 제2항에 있어서, 상기 투명전극층은 알루미늄이 도핑된 산화아연(AZO; Aluminium-zinc oxide; ZnO:Al), 산화인듐주석(ITO; indium-tin oxide), 산화아연(ZnO), 산화알루미늄주석(ATO; Aluminium-tin oxide; SnO₂:Al), 불소함유 산화주석(FTO; Fluorine-doped tin oxide), 은 나노와이어, 그래핀(graphene), 및 탄소나노튜브를 포함하는 군으로부터 선택되는 1종 이상인 것을 특징으로 하는 하이브리드 박막 태양전지.

청구항 9

기판, 투명전극층, p형 실리콘층, i형(intrinsic) 실리콘층, n형 반도체층 및 금속전극층이 상기 순서대로 적층된 박막 태양전지의 광전변환효율을 향상시키는 방법에 있어서,

상기 n형 반도체층으로서 10 내지 20 nm 두께의 PCBM 층을 사용하고, 금속전극층으로서 LiF/Al 전극층을 사용하는 것을 특징으로 하는 박막 태양전지의 광전변환효율을 향상시키는 방법.

청구항 10

금속전극층, n형 반도체층, i형(intrinsic) 실리콘층, p형 실리콘층 및 투명전극층이 상기 순서대로 적층된 박

막 태양전지의 광전변환효율을 향상시키는 방법에 있어서,

상기 n형 반도체층으로서 10 내지 20 nm 두께의 PCBM 층을 사용하고, 금속전극층으로서 LiF/Al 전극층을 사용하는 것을 특징으로 하는 박막 태양전지의 광전변환효율을 향상시키는 방법.

청구항 11

제9항 또는 제10항에 있어서, 상기 PCBM 층은 1 내지 10 중량%의 농도 PCBM 용액을 스핀코팅하여 형성되는 것을 특징으로 하는 박막 태양전지의 광전변환효율을 향상시키는 방법.

청구항 12

제11항에 있어서, 상기 PCBM 층은 스핀코팅 후, 100 내지 200 °C의 온도로 열처리 되는 것을 특징으로 하는 박막 태양전지의 광전변환효율을 향상시키는 방법.

명세서

기술분야

[0001] 본 발명은 하이브리드 박막 태양전지 및 이의 제조방법에 관한 것으로, 상세하게는 실리콘 박막 태양전지로 플러렌 유도체를 도입시킨 하이브리드 박막 태양전지 및 이의 제조방법에 관한 것이다.

배경기술

[0002] 최근 심각한 환경오염 문제와 화석 에너지 고갈로 차세대 청정에너지 개발에 대한 중요성이 증대되고 있다. 그 중에서도 태양전지는 태양 에너지를 직접 전기 에너지로 전환시키는 장치로서, 공해가 적고, 자원이 무한적이며 반영구적인 수명을 가지고 있어 미래 에너지 문제를 해결할 수 있는 에너지원으로 기대되고 있다.

[0003] 특히, 태양전지는 거의 무한한 에너지원인 태양을 에너지원으로 하고, 발전 과정에서 공해 물질을 거의 생성하지 않으며, 수명이 20년 이상으로 매우 길다는 장점과 더불어, 관련 산업분야로의 파급 효과가 크다는 장점으로 인해 매우 주목받고 있으며, 그로 인해 많은 국가에서 태양전지를 차세대 주요산업으로 육성하고 있다.

[0004] 한편, 현재 태양전지의 90% 이상은 단결정 또는 다결정 실리콘 웨이퍼(Si wafer)를 기반으로 하여 제조되고 있으며, 이외에 박막형 실리콘 기반의 태양전지가 소규모로 제조되고 있다. 하지만, 현재 단결정 또는 다결정 실리콘 웨이퍼를 기반으로 한 이른바 벌크(bulk)형 실리콘 태양전지는 필요한 원재료 양이 최소 150 μm 두께 이상 이므로, 원가의 많은 부분을 재료비, 즉 실리콘 원재료가 차지하고 있으며, 원재료의 공급이 급격히 늘어나는 수요를 따라가지 못해 원가를 낮출 수 있는 가능성이 용이하지 않은 실정이다.

[0005] 반면, 박막형 실리콘 태양전지는 그 두께가 2 μm 이내이므로 벌크형 실리콘 태양전지에 비해 원재료의 사용량이 매우 적어 재료비를 비약적으로 낮출 수 있다. 따라서 제조 단가 면에서 실리콘 태양전지와 비교하여 경제적인 장점이 있다.

[0006] 하지만, 박막형 실리콘 태양전지는 벌크형 실리콘 태양전지에 비해 같은 면적 대비 발전 성능이 절반 정도로 매우 낮다. 즉, 일반적으로 태양전지의 효율을 표현할 때는 100 mW/cm²의 광량에서 얻을 수 있는 전력의 크기를 %로 나타내는데, 벌크형 실리콘 태양전지의 효율은 12% 내지 20%를 나타낼 수 있으나, 박막형 실리콘 태양전지의 효율은 이보다 상대적으로 낮은 효율을 나타내고 있다.

[0007] 한편, 실리콘 태양전지의 효율을 감소시키는 요소로는 저항성분, 재결합 및 광학적 손실을 들 수 있으며, 실리콘 태양전지의 효율을 향상시키기 위해서는 실리콘 태양전지 구조의 적당한 설계에 의하여 각 손실성분들은 최

소화해야 한다.

- [0008] 이때, 상기 광학적인 손실은 실리콘 표면에서 빛의 반사에 의한 손실로 빛 포획이 가능한 텍스처링(Texturing) 및 반사를 방지하는 AR(Anti-Reflection) 코팅을 이용하여 개선할 수 있다.
- [0009] 아울러, 저항에 따른 손실은 전극 물질의 전기전도도를 향상시킴으로써 전극자체의 저항으로 인한 손실을 최소화할 수 있다.
- [0010] 나아가, 실리콘 태양전지에 있어서 홀과 전자의 재결합으로 인한 손실을 방지하기 위한 방법들은 여러 해결방안들에 대한 연구가 진행되고 있으며,
- [0011] 일례로 대한민국 공개특허 제10-2004-0042209호에서는 실리콘 산화물, 실리콘 질화물 등을 포함하는 절연층을 구비시켜 홀과 전자의 재결합을 방지하는 방법이 개시된 바 있다.
- [0012] 이에 본 발명자들은 상기한 바와 같은 홀과 전자의 재결합으로 인한 실리콘 태양전지의 효율 저하를 해결하기 위한 방법을 연구하던 중, 종래의 n-형 실리콘층을 플러렌 유도체로 대체하는 경우, 홀의 이동을 차단하는 배리어(barrier)층 역할을 수행하여 홀과 전자의 재결합을 방지할 수 있음을 발견하고, 본 발명에 따른 하이브리드 박막 태양전지를 개발하였다.

발명의 내용

해결하려는 과제

- [0013] 본 발명의 목적은 하이브리드 박막 태양전지 및 이의 제조방법을 제공하는 데 있다.

과제의 해결 수단

- [0014] 상기 목적을 달성하기 위하여, 본 발명은
- [0015] 기판, 투명전극층, p형 실리콘층, i형(intrinsic) 실리콘층, 플러렌 유도체 층, 및 금속전극층이 순차적으로 적층된 하이브리드 박막 태양전지를 제공한다.
- [0016] 또한, 본 발명은
- [0017] 금속전극층, 플러렌 유도체 층, i형(intrinsic) 실리콘층, p형 실리콘층, 및 투명전극층이 순차적으로 적층된 하이브리드 박막 태양전지를 제공한다.
- [0018] 나아가, 본 발명은
- [0019] 기판상에 투명전극층을 코팅하는 단계(단계 1);
- [0020] 상기 투명전극층 상부에 p형 실리콘층, i형 실리콘층 및 플러렌 유도체층을 순차적으로 형성시키는 단계(단계 2); 및
- [0021] 상기 단계 2에서 적층된 플러렌 유도체층 상부에 금속전극을 형성시키는 단계(단계 3)를 포함하는 하이브리드 박막 태양전지의 제조방법을 제공한다.
- [0022] 더욱 나아가, 본 발명은
- [0023] 금속전극층 상에 플러렌 유도체층, i형 실리콘층, 및 p형 실리콘층을 순차적으로 형성시키는 단계(단계 1); 및
- [0024] 상기 단계 1에서 적층된 n형 실리콘층 상부에 투명전극층을 형성시키는 단계(단계 2)를 포함하는 하이브리드 박

막 태양전지의 제조방법을 제공한다.

발명의 효과

[0025] 본 발명에 따른 하이브리드 박막 태양전지는 종래의 실리콘 태양전지에서 n-형 반도체로서 사용되었던 n-형 실리콘층을 플러렌 유도체로 대체한 것으로, 상기 플러렌 유도체가 n-형 반도체로서 사용됨에 따라 홀과 전자의 재결합을 방지하는 배리어층 역할을 수행하여 광전변환효율을 향상시킬 수 있는 효과가 있다.

[0026] 나아가, 종래의 n-형 실리콘층의 형성시에는 PH₃와 같은 유해가스가 사용되었던 것과 비교하여 용액공정을 통해 플러렌 유도층을 형성시킬 수 있어 유해가스 사용에 따른 위험성을 방지할 수 있다.

도면의 간단한 설명

[0027] 도 1은 본 발명의 하이브리드 박막 태양전지에서 n-형 반도체로서 사용되는 플러렌 유도체 중 PCBM의 구조를 나타낸 그림이고;

도 2는 본 발명에 따른 하이브리드 박막 태양전지의 일례를 나타낸 그림이고;

도 3은 종래의 실리콘 태양전지와 본 발명에 따른 하이브리드 박막 태양전지의 에너지 밴드를 도시한 그림이고;

도 4는 본 발명에 따라 제조된 하이브리드 박막 태양전지의 단면을 투과전자현미경으로 관찰한 사진이고;

도 5는 본 발명에 따라 제조된 하이브리드 박막 태양전지의 단면을 에너지 분산형 X-선 분석기(Energy dispersive X-ray analyzer)으로 관찰한 사진이고;

도 6은 본 발명에 따라 제조된 하이브리드 박막 태양전지를 2차 이온 질량 분광계(SIMS, secondary ion mass spectrometer)로 분석한 그래프이고;

도 7은 본 발명에 따라 제조된 하이브리드 박막 태양전지의 전압-전류 곡선을 도시한 그래프이고;

도 8은 본 발명에 따라 제조된 하이브리드 박막 태양전지와 종래의 실리콘 태양전지의 전기적 특성을 비교한 그래프이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0028] 본 발명은

[0029] 기관, 투명전극층, p형 실리콘층, i형(intrinsic) 실리콘층, 플러렌 유도체 층, 및 금속전극층이 순차적으로 적층된 하이브리드 박막 태양전지를 제공한다.

[0030] 이하, 본 발명에 따른 하이브리드 박막 태양전지를 상세히 설명한다.

[0031] 본 발명에 따른 하이브리드 박막 태양전지는 종래의 실리콘 태양전지에 있어서, n-형 반도체로 사용되었던 n-형 실리콘층을 플러렌 유도체로 대체한 것으로 상기 플러렌은 다이아몬드, 흑연과 같은 탄소 동소체의 일종으로서, 강도가 우수하고, 고온 고압에 강한 특성이 있다. 아울러, 내부가 텅 빈 구조를 나타내어 전도체로서 사용될 수 있는 특성이 있다.

[0032] 본 발명에 따른 하이브리드 박막 태양전지는 상기한 바와 같은 플러렌 유도체를 n-형 반도체로서 포함하며, 이를 통해 종래의 실리콘 태양전지와 비교하여 더욱 우수한 광전변환효율을 나타낼 수 있다.

[0033] 본 발명에 따른 하이브리드 박막 태양전지에 있어서, 플러렌 유도체의 일례로서 사용될 수 있는 PCBM은 도 1에 나타낸 바와 같이 구형의 형태이며, 상기 PCBM은 n-형 반도체로의 역할을 수행하여 전자만을 통과시키게 된다. 즉, 도 2의 그림에서 나타낸 바와 같이, 본 발명에 따른 하이브리드 박막 태양전지는 종래의 n-형 실리콘이 구

비되었던 자리로 플러렌 유도체(PCBM)이 구비된다.

- [0034] 한편, 상기 PCBM은 종래의 n-형 반도체와 비교하여 홀의 이동을 차단하는 배리어층(barrier layer) 역할을 수행할 수 있다. 즉, 도 3의 그림을 통해 나타낸 바와 같이, 종래의 실리콘 태양전지에 있어서, i형(intrinsic) 실리콘층과, n-형 실리콘층이 접촉하는 경우에는 i-형 실리콘과 n-형 실리콘의 전도대 에너지 준위 차이가 0.1 eV에 불과한 것을 알 수 있다. 반면, PCBM의 경우 i-형 실리콘과의 전도대 에너지 준위 차이가 0.3 eV로 더욱 커지는 것을 알 수 있으며, 이와 같이 전도대의 에너지 준위 차이가 커짐에 따라 PCBM이 홀의 이동을 차단하는 배리어층(barrier layer) 역할을 하며, 이는 궁극적으로 상부 금속전극에서의 전자와 재결합 정도의 재결합 정도를 감소시킬 수 있어 태양전지의 광전변환효율을 향상시킬 수 있다.
- [0035] 또한, 종래의 n-형 실리콘은 PH₃와 같은 유해가스를 이용하여 형성됨에 따라 상기 가스로 인한 위험성이 있었다. 그러나, 상기 PCBM은 PH₃와 같은 유해가스를 사용하지 않고도 용액공정을 통해 쉽게 형성시킬 수 있어 공정의 편의성 및 위험성 해소 효과가 있다.
- [0036] 나아가, PCBM과 같은 플러렌 유도체는 역 암전류 밀도(reverse dark-saturation current density)를 감소시킬 수 있어 더욱 향상된 계면 접촉(interfacial contact)을 달성할 수 있다.
- [0037] 본 발명에 따른 하이브리드 박막 태양전지에 있어서, n-형 반도체로서 사용되는 상기 플러렌 유도체는 PCBM([6,6]-phenyl-C₆₁-butyric acid methyl ester), PC₆₁BM, PC₇₁BM, Bis-PCBM, IC₆₀MA, IC₇₀MA, IC₆₀BA, IC₇₀BA, BC₆₀MA, BC₇₀MA 등을 사용할 수 있으며, 바람직하게는 PCBM을 플러렌 유도체로서 사용할 수 있으나, 상기 플러렌 유도체가 이에 제한되는 것은 아니다.
- [0038] 한편, 본 발명에 따른 하이브리드 박막 태양전지에 있어서, 상기 플러렌 유도체층의 두께는 10 내지 50 nm인 것이 바람직하다.
- [0039] 만약, 상기 플러렌 유도체층의 두께가 10 nm 미만인 경우에는 n-형 반도체로서 역할을 하지 못하여 태양전지 내에서 내부 확산 전위(Built-in potential)이 충분히 걸리지 못하는 문제가 있으며, 플러렌 유도체층의 두께가 50 nm를 초과하는 경우에는 계면저항이 증가하는 문제가 있다.
- [0040] 본 발명에 따른 하이브리드 박막 태양전지에 있어서, 상기 기판은 투명한 유리 또는 투명한 플라스틱 기판을 사용할 수 있으며, 상기 플라스틱으로는 예를 들어 폴리에틸렌 테레프탈레이트 (PET), 폴리에틸렌 설펜(PES), 폴리에틸렌 나프탈레이트(PEN), 폴리카보네이트(PC), 폴리메틸메타크릴레이트(PMMA), 폴리이미드 (PI), 에틸렌비닐아세테이트(EVA), 아몰포스폴리에틸렌테레프탈레이트(APET), 폴리프로필렌테레프탈레이트(PPT), 폴리에틸렌테레프탈레이트글리세롤(PETG), 폴리사이클로헥실렌디메틸렌테레프탈레이트(PCTG), 변성트리아세틸셀룰로스(TAC), 사이클로올레핀폴리머(COP), 사이클로올레핀코폴리머(COC), 디시클로펜타디엔폴리머(DCPD), 시클로펜타디엔폴리머(CPD), 폴리아릴레이트(PAR), 폴리에테르이미드(PEI), 폴리다이메틸실록세인(PDMS) 등을 사용할 수 있다. 그러나, 상기 플라스틱 기판이 이에 제한되는 것은 아니며, 실리콘 태양전지의 기판으로서 사용될 수 있는 모든 플라스틱 기판을 사용할 수 있다.
- [0041] 본 발명에 따른 하이브리드 박막 태양전지에 있어서, 상기 투명전극은 AZO(Aluminium Zinc Oxide), 산화인듐주석(Indium Tin Oxide, ITO), 산화아연(ZnO), 산화알루미늄주석(Aluminium Tin Oxide, ATO), 불소함유 산화주석 (Fluorine-doped Tin Oxide, FTO), 은 나노와이어, 그래핀(graphene), 탄소나노튜브 등을 사용할 수 있다. 그러나, 상기 투명전극이 이에 제한되는 것은 아니며, 실리콘 태양전지의 투명전극으로서 사용될 수 있는 모든 투명전극물질을 사용할 수 있다.
- [0042] 상기 p형 실리콘층은 실리콘에 붕소(B)와 같은 3B족 원소가 도핑된 p형 실리콘으로서, 물리기상증착법(PVD), 화학기상증착법(CVD) 등을 통해 형성될 수 있다.

- [0043] 아울러, 상기 p형 실리콘층은 실리콘(Si) 외에도 SiH₄, SiGe, SiC, SiO, SiN, SiON, SiCN, SiGeO, SiGeN, SiGeC 등을 사용하여 B₂H₆와 같은 불순물을 도핑하여 형성될 수 있다. 즉, 예를 들어 상기 p형 실리콘층은 SiH₄와 수소 가스 및 B₂H₆를 이용하여 플라즈마 화학기상증착법(PECVD)을 통해 형성될 수 있다.
- [0044] 상기 i형 실리콘층은 광흡수층으로서 상기 p형 실리콘층 상에 위치한다. 이때, 상기 i형 실리콘층은 Si를 포함하며, Si 외에도 SiH₄, SiGe, SiC, SiO, SiN, SiON, SiCN, SiGeO, SiGeN, SiGeC 등을 수소 가스와 함께 사용함으로써 i형 실리콘층이 형성될 수 있다. 즉, 예를 들어, SiH₄와 수소 가스를 이용하여 플라즈마 화학기상증착법(PECVD)을 통해 형성될 수 있다.
- [0045] 본 발명에 따른 하이브리드 박막 태양전지에 있어서, 상기 금속전극층은 상기 폴리렌 유도체층 상부에 구비되며, 상기 금속전극층으로는 일함수가 낮은 Al, Ca, Ag, Zn, Cr 등의 금속들을 이용할 수 있으며, 바람직하게는 알루미늄, 또는 LiF/Al을 금속전극으로서 사용할 수 있으나, 상기 금속전극이 이에 제한되는 것은 아니다.
- [0046] 또한, 본 발명은
- [0047] 금속전극층, 폴리렌 유도체 층, i형(intrinsic) 실리콘층, p형 실리콘층, 및 투명전극층이 순차적으로 적층된 하이브리드 박막 태양전지를 제공한다.
- [0048] 상기 하이브리드 박막 태양전지는 금속전극층이 금속전극으로서의 역할뿐만 아니라 금속기관으로서 사용되고 있는 것으로, 그 구조가 상이한 것을 제외하고는 전술한 하이브리드 박막 태양전지와 그 구성이 동일하며, 이에 따라 각 구성에 대한 설명 역시 전술한 내용들과 동일하기 때문에 이에 대한 설명은 생략한다.
- [0049] 나아가, 본 발명은
- [0050] 기관상에 투명전극층을 코팅하는 단계(단계 1);
- [0051] 상기 투명전극층 상부에 p형 실리콘층, i형 실리콘층 및 폴리렌 유도체층을 순차적으로 형성시키는 단계(단계 2); 및
- [0052] 상기 단계 2에서 적층된 폴리렌 유도체층 상부에 금속전극을 형성시키는 단계(단계 3)를 포함하는 하이브리드 박막 태양전지의 제조방법을 제공한다.
- [0053] 이하, 본 발명에 따른 하이브리드 박막 태양전지의 제조방법을 각 단계별로 상세히 설명한다.
- [0054] 본 발명에 따른 하이브리드 박막 태양전지의 제조방법에 있어서, 단계 1은 기관상에 투명전극층을 코팅하는 단계이다.
- [0055] 이때, 상기 기관으로는 투명한 유리 또는 투명한 플라스틱 기관을 사용할 수 있으며, 상기 플라스틱으로는 예를 들어 폴리에틸렌 테레프탈레이트 (PET), 폴리에틸렌 설펜(PES), 폴리에틸렌 나프탈레이트(PEN), 폴리카보네이트(PC), 폴리메틸메타크릴레이트(PMMA), 폴리이미드 (PI), 에틸렌비닐아세테이트(EVA), 아몰포스폴리에틸렌테레프탈레이트(APET), 폴리프로필렌테레프탈레이트(PPT), 폴리에틸렌테레프탈레이트글리세롤(PETG), 폴리사이클로헥실렌디메틸렌테레프탈레이트(PCTG), 변성트리아세틸셀룰로스(TAC), 사이클로올레핀폴리머(COP), 사이클로올레핀코폴리머(COC), 디시클로펜타디엔폴리머(DCPD), 시클로펜타디엔폴리머(CPD), 폴리아릴레이트(PAR), 폴리테트라에틸렌(PET), 폴리다이메틸실록세인(PDMS) 등을 사용할 수 있다. 그러나, 상기 플라스틱 기관이 이에 제한되는 것은 아니며, 실리콘 태양전지의 기관으로서 사용될 수 있는 모든 플라스틱 기관을 사용할 수 있다.

- [0056] 또한, 상기 단계 1에 있어서, 투명전극은 AZO(Aluminium Zinc Oxide), 산화인듐주석(Indium Tin Oxide, ITO), 산화아연(ZnO), 산화알루미늄주석(Aluminium Tin Oxide, ATO), 불소함유 산화주석(Fluorine-doped Tin Oxide, FTO), 은 나노와이어, 그래핀(graphene), 탄소나노튜브 등을 사용할 수 있다. 그러나, 상기 투명전극이 이에 제한되는 것은 아니며, 실리콘 태양전지의 투명전극으로서 사용될 수 있는 모든 투명전극물질을 사용할 수 있다.
- [0057] 상기 투명전극은 화학기상증착 등의 증착공정을 통해 기판상에 형성될 수 있으며, 상기 화학기상증착 외에도 투명전극을 기판상에 형성시킬 수 있는 공지된 방법들을 적절히 선택하여 투명전극을 기판상에 형성시킬 수 있다.
- [0058] 본 발명에 따른 하이브리드 박막 태양전지의 제조방법에 있어서, 단계 2는 상기 투명전극층 상부에 p형 실리콘층, i형 실리콘층 및 플러렌 유도체층을 순차적으로 형성시키는 단계이다.
- [0059] 상기 단계 2의 p형 실리콘층, i형 실리콘층은 종래의 실리콘 박막 태양전지와 동일한 공정으로 형성될 수 있다.
- [0060] 예를 들어, 상기 p형 실리콘층은 실리콘에 붕소(B)와 같은 3B족 원소가 도핑된 p형 실리콘으로서, 물리기상증착법(PVD), 화학기상증착법(CVD) 등을 통해 형성될 수 있다.
- [0061] 아울러, 상기 p형 실리콘층은 실리콘(Si) 외에도 SiH₄, SiGe, SiC, SiO, SiN, SiON, SiCN, SiGeO, SiGeN, SiGeC 등을 사용하여 B₂H₆와 같은 불순물을 도핑하여 형성될 수 있다. 즉, 예를 들어 상기 p형 실리콘층은 SiH₄와 수소 가스 및 B₂H₆를 이용하여 플라즈마 화학기상증착법(PECVD)을 통해 형성될 수 있다.
- [0062] 또한, 상기 i형 실리콘층은 광흡수층으로서 상기 p형 실리콘층 상에 위치한다. 이때, 상기 i형 실리콘층은 Si를 포함하며, Si 외에도 SiH₄, SiGe, SiC, SiO, SiN, SiON, SiCN, SiGeO, SiGeN, SiGeC 등을 수소 가스와 함께 사용함으로써 i형 실리콘층이 형성될 수 있다. 즉, 예를 들어, SiH₄와 수소 가스를 이용하여 플라즈마 화학기상증착법(PECVD)을 통해 형성될 수 있다.
- [0063] 그러나, 상기 p형 실리콘층, i형 실리콘층의 제조가 상기 예시들에 의해 제한되는 것은 아니며, p형 실리콘층 및 i형 실리콘층을 형성시킬 수 있는 다양한 방법들을 적절히 선택하여 p형 실리콘층 및 i형 실리콘층을 형성시킬 수 있다.
- [0064] 한편, 상기 단계 2의 플러렌 유도체층은 종래의 실리콘 태양전지에 있어서, n-형 반도체로 사용되었던 n-형 실리콘층을 플러렌 유도체로 대체한 것으로, 상기 플러렌 유도체를 n-형 반도체로 포함함에 따라 종래의 실리콘 태양전지와 비교하여 더욱 우수한 광전변환효율을 나타내는 태양전지를 제조할 수 있다.
- [0065] 이때, n-형 반도체로서 단계 2에서 형성되는 상기 플러렌 유도체는 PCBM([6,6]-phenyl-C₆₁-butyric acid methyl ester), PC₆₁BM, PC₇₁BM, Bis-PCBM, IC₆₀MA, IC₇₀MA, IC₆₀BA, IC₇₀BA, BC₆₀MA, BC₇₀MA 등을 사용할 수 있으며, 바람직하게는 PCBM을 플러렌 유도체로서 사용할 수 있으나, 상기 플러렌 유도체가 이에 제한되는 것은 아니다.
- [0066] 아울러, 상기 플러렌 유도체층은 용액공정을 통해 형성될 수 있다.
- [0067] 종래의 n-형 실리콘은 PH₃와 같은 유해가스를 이용하여 형성됨에 따라 상기 유해가스로 인한 위험성이 있었다. 그러나, 상기 플러렌 유도체는 PH₃와 같은 유해가스를 사용하지 않고도 플러렌 유도체가 분산된 분산액을 스핀코팅과 같은 용액공정을 통한 코팅이 가능하기 때문에 제조공정의 편의성 및 위험성 해소 효과가 있다.
- [0068] 한편, 상기 플러렌 유도체층은 10 내지 50 nm의 두께로 형성되는 것이 바람직하다. 만약, 상기 플러렌 유도체층의 두께가 10 nm 미만인 경우에는 n-형 반도체로서 역할을 하지 못하여 태양전지 내에서 내부 확산 전위(Built-

in potential)이 충분히 걸리지 못하는 문제가 있으며, 플러렌 유도체층의 두께가 50 nm를 초과하는 경우에는 계면저항이 증가하는 문제가 있다.

- [0069] 본 발명에 따른 하이브리드 박막 태양전지의 제조방법에 있어서, 단계 3은 상기 단계 2에서 적층된 플러렌 유도체층 상부에 금속전극을 형성시키는 단계이다.
- [0070] 이때, 상기 금속전극층으로는 일함수가 낮은 Al, Ca, Ag, Zn, Cr 등의 금속들을 이용할 수 있으며, 바람직하게는 알루미늄, 또는 LiF/Al을 금속전극으로서 사용할 수 있으나, 상기 금속전극이 이에 제한되는 것은 아니다.
- [0071] 나아가, 본 발명은
- [0072] 금속전극층 상에 플러렌 유도체층, i형 실리콘층, 및 p형 실리콘층을 순차적으로 형성시키는 단계(단계 1); 및
- [0073] 상기 단계 1에서 적층된 n형 실리콘층 상부에 투명전극층을 형성시키는 단계(단계 2)를 포함하는 하이브리드 박막 태양전지의 제조방법을 제공한다.
- [0074] 이하, 본 발명에 따른 하이브리드 박막 태양전지의 제조방법을 각 단계별로 상세히 설명한다.
- [0075] 본 발명에 따른 하이브리드 박막 태양전지의 제조방법에 있어서, 단계 1은 금속전극층 상에 플러렌 유도체층, i형 실리콘층, 및 p형 실리콘층을 순차적으로 형성시키는 단계이다.
- [0076] 상기 단계 1에서는 금속전극층을 금속기판으로서 사용하여 금속전극층 상에 플러렌 유도체층, i형 실리콘층, 및 p형 실리콘층을 순차적으로 형성시킨다.
- [0077] 이때, 상기 금속전극층으로는 일함수가 낮은 Al, Ca, Ag, Zn, Cr 등의 금속들을 이용할 수 있으며, 바람직하게는 알루미늄, 또는 LiF/Al을 금속전극으로서 사용할 수 있으나, 상기 금속전극이 이에 제한되는 것은 아니다.
- [0078] 한편, 상기 단계 1의 p형 실리콘층, i형 실리콘층은 종래의 실리콘 박막 태양전지와 동일한 공정으로 형성될 수 있다.
- [0079] 예를 들어, 상기 p형 실리콘층은 실리콘에 붕소(B)와 같은 3B족 원소가 도핑된 p형 실리콘으로서, 물리기상증착법(PVD), 화학기상증착법(CVD) 등을 통해 형성될 수 있다.
- [0080] 아울러, 상기 p형 실리콘층은 실리콘(Si) 외에도 SiH₄, SiGe, SiC, SiO, SiN, SiON, SiCN, SiGeO, SiGeN, SiGeC 등을 사용하여 B₂H₆와 같은 불순물을 도핑하여 형성될 수 있다. 즉, 예를 들어 상기 p형 실리콘층은 SiH₄와 수소 가스 및 B₂H₆를 이용하여 플라즈마 화학기상증착법(PECVD)을 통해 형성될 수 있다.
- [0081] 또한, 상기 i형 실리콘층은 광흡수층으로서 상기 p형 실리콘층 상에 위치한다. 이때, 상기 i형 실리콘층은 Si를 포함하며, Si 외에도 SiH₄, SiGe, SiC, SiO, SiN, SiON, SiCN, SiGeO, SiGeN, SiGeC 등을 수소 가스와 함께 사용함으로써 i형 실리콘층이 형성될 수 있다. 즉, 예를 들어, SiH₄와 수소 가스를 이용하여 플라즈마 화학기상증착법(PECVD)을 통해 형성될 수 있다.
- [0082] 그러나, 상기 p형 실리콘층, i형 실리콘층의 제조가 상기 예시들에 의해 제한되는 것은 아니며, p형 실리콘층 및 i형 실리콘층을 형성시킬 수 있는 다양한 방법들을 적절히 선택하여 p형 실리콘층 및 i형 실리콘층을 형성시킬 수 있다.
- [0083] 한편, 상기 단계 1의 플러렌 유도체층은 종래의 실리콘 태양전지에 있어서, n-형 반도체로 사용되었던 n-형 실

리튬층을 플러렌 유도체로 대체한 것으로, 상기 플러렌 유도체를 n-형 반도체로 포함함에 따라 종래의 실리콘 태양전지와 비교하여 더욱 우수한 광전변환효율을 나타내는 태양전지를 제조할 수 있다.

[0084] 이때, n-형 반도체로서 단계 1에서 형성되는 상기 플러렌 유도체는 PCBM([6,6]-phenyl-C₆₁-butyric acid methyl ester), PC₆₁BM, PC₇₁BM, Bis-PCBM, IC₆₀MA, IC₇₀MA, IC₆₀BA, IC₇₀BA, BC₆₀MA, BC₇₀MA 등을 사용할 수 있으며, 바람직하게는 PCBM을 플러렌 유도체로서 사용할 수 있으나, 상기 플러렌 유도체가 이에 제한되는 것은 아니다.

[0085] 아울러, 상기 플러렌 유도체층은 용액공정을 통해 형성될 수 있다.

[0086] 종래의 n-형 실리콘은 PH₃와 같은 유해가스를 이용하여 형성됨에 따라 상기 유해가스로 인한 위험성이 있었다. 그러나, 상기 플러렌 유도체는 PH₃와 같은 유해가스를 사용하지 않고도 플러렌 유도체가 분산된 분산액을 스퍼코팅과 같은 용액공정을 통한 코팅이 가능하기 때문에 제조공정의 편의성 및 위험성 해소 효과가 있다.

[0087] 한편, 상기 플러렌 유도체층은 10 내지 50 nm의 두께로 형성되는 것이 바람직하다. 만약, 상기 플러렌 유도체층의 두께가 10 nm 미만인 경우에는 n-형 반도체로서 역할을 하지 못하여 태양전지 내에서 내부 확산 전위(Built-in potential)이 충분히 걸리지 못하는 문제가 있으며, 플러렌 유도체층의 두께가 50 nm를 초과하는 경우에는 계면저항이 증가하는 문제가 있다.

[0088] 본 발명에 따른 하이브리드 박막 태양전지의 제조방법에 있어서, 단계 2는 상기 단계 1에서 적층된 n형 실리콘층 상부에 투명전극층을 형성시키는 단계이다.

[0089] 상기 단계 2에 있어서, 투명전극은 AZO(Aluminium Zinc Oxide), 산화인듐주석(Indium Tin Oxide, ITO), 산화아연(ZnO), 산화알루미늄주석(Aluminium Tin Oxide, ATO), 불소함유 산화주석(Fluorine-doped Tin Oxide, FTO), 은 나노와이어, 그래핀(graphene), 탄소나노튜브 등을 사용할 수 있다. 그러나, 상기 투명전극이 이에 제한되는 것은 아니며, 실리콘 태양전지의 투명전극으로서 사용될 수 있는 모든 투명전극물질을 사용할 수 있다.

[0090] 상기 투명전극은 화학기상증착 등의 증착공정을 통해 기판상에 형성될 수 있으며, 상기 화학기상증착 외에도 투명전극을 기판상에 형성시킬 수 있는 공지된 방법들을 적절히 선택하여 투명전극을 기판상에 형성시킬 수 있다.

[0091] 본 발명에 따른 상기 제조방법은 n-형 반도체로서 플러렌 유도체를 적용하여 하이브리드 태양전지를 제조하는 것으로서, 상기 플러렌 유도체가 홀 배리어 층으로서 작용하여 홀과 전자의 재결합을 방지하여 광전변환효율이 향상된 태양전지를 제조할 수 있다. 아울러, 종래의 실리콘 박막 태양전지와 비교하여 n-형 반도체의 제조시 유해가스를 사용하지 않고 용액공정을 통해 플러렌 유도체층을 형성시킬 수 있어 유해가스로 인한 위험성을 해소할 수 있다.

[0092] 이하, 본 발명을 실시예를 통해 보다 구체적으로 설명한다. 그러나, 하기 실시예는 본 발명을 설명하기 위한 것일 뿐, 하기 실시예에 의하여 본 발명의 권리범위가 한정되는 것은 아니다.

[0093] <실시예 1> 하이브리드 박막 태양전지의 제조

[0094] 단계 1 : 유리기판 상에 FTO 투명전극을 형성시켰다.

[0095] 단계 2 : 상기 단계 1에서 형성된 투명전극 상에 p형 실리콘층, i형 실리콘층 및 플러렌 유도체로서 PCBM층을 순차적으로 형성시켰다.

[0096] 이때, 상기 p형 실리콘층은 SiH₄와 수소가스의 혼합가스를 공급하며 BH₃를 불순물로서 공급하여 화학기상증착공정(plasma-enhanced chemical vapor deposition)을 통해 12 nm의 두께로 형성시켰다.

- [0097] 또한, 상기 i형 실리콘층은 SiH_4 와 수소가스의 혼합가스를 공급하며 화학기상증착공정(plasma-enhanced chemical vapor deposition)을 통해 450 nm의 두께로 형성시켰다.
- [0098] 아울러, 상기 PCBM층은 PCBM을 1중량%의 농도로 용매인 클로로벤젠에 분산시킨 후, 이를 스핀코팅하여 형성시켰으며, 형성된 PCBM층은 핫플레이트를 이용하여 글로브박스 내에서 150 °C의 온도로 10분간 가열하여 건조시켰다.
- [0099] 이때, 제조된 PCBM층의 두께는 약 10 내지 20 nm로 나타났다.
- [0100] 단계 3 : 상기 단계 2에서 형성된 PCBM층 상에 금속전극으로서 LiF/Al을 열증착시켜 하이브리드 박막 태양전지를 제조하였다.
- [0101] <비교예 1>
- [0102] 단계 1 : 유리기판 상에 FTO 투명전극을 형성시켰다.
- [0103] 단계 2 : 상기 단계 1에서 형성된 투명전극 상에 p형 실리콘층, i형 실리콘층 및 n형 실리콘층을 순차적으로 형성시켰다.
- [0104] 이때, 상기 p형 실리콘층은 SiH_4 와 수소가스의 혼합가스를 공급하며 BH_3 를 불순물로서 공급하여 화학기상증착공정(plasma-enhanced chemical vapor deposition)을 통해 형성시켰다.
- [0105] 또한, 상기 i형 실리콘층은 SiH_4 와 수소가스의 혼합가스를 공급하며 화학기상증착공정(plasma-enhanced chemical vapor deposition)을 통해 형성시켰다.
- [0106] 나아가, 상기 n형 실리콘층은 SiH_4 와 수소가스의 혼합가스를 공급하며 PH_3 를 불순물로서 공급하여 화학기상증착공정(plasma-enhanced chemical vapor deposition)을 통해 형성시켰다.
- [0107] 단계 3 : 상기 단계 2에서 형성된 n형 실리콘층 상에 금속전극으로서 LiF/Al을 열증착시켜 실리콘 박막 태양전지를 제조하였다.
- [0108] <비교예 2>
- [0109] 단계 1 : 유리기판 상에 FTO 투명전극을 형성시켰다.
- [0110] 단계 2 : 상기 단계 1에서 형성된 투명전극 상에 p형 실리콘층 및 i형 실리콘층을 순차적으로 형성시켰다.
- [0111] 이때, 상기 p형 실리콘층은 SiH_4 와 수소가스의 혼합가스를 공급하며 BH_3 를 불순물로서 공급하여 화학기상증착공정(plasma-enhanced chemical vapor deposition)을 통해 형성시켰다.
- [0112] 또한, 상기 i형 실리콘층은 SiH_4 와 수소가스의 혼합가스를 공급하며 화학기상증착공정(plasma-enhanced chemical vapor deposition)을 통해 형성시켰다.
- [0113] 단계 3 : 상기 단계 2에서 형성된 n형 실리콘층 상에 금속전극으로서 Al을 열증착시켜 실리콘 박막 태양전지를 제조하였다.

- [0114] <비교예 3>
- [0115] 단계 1 : 유리기판 상에 FTO 투명전극을 형성시켰다.
- [0116] 단계 2 : 상기 단계 1에서 형성된 투명전극 상에 p형 실리콘층 및 i형 실리콘층을 순차적으로 형성시켰다.
- [0117] 이때, 상기 p형 실리콘층은 SiH_4 와 수소가스의 혼합가스를 공급하며 BH_3 를 불순물로서 공급하여 화학기상증착공정(plasma-enhanced chemical vapor deposition)을 통해 형성시켰다.
- [0118] 또한, 상기 i형 실리콘층은 SiH_4 와 수소가스의 혼합가스를 공급하며 화학기상증착공정(plasma-enhanced chemical vapor deposition)을 통해 형성시켰다.
- [0119] 단계 3 : 상기 단계 2에서 형성된 n형 실리콘층 상에 금속전극으로서 LiF/Al을 열증착시켜 실리콘 박막 태양전지를 제조하였다.
- [0120] <비교예 4>
- [0121] 단계 1 : 유리기판 상에 FTO 투명전극을 형성시켰다.
- [0122] 단계 2 : 상기 단계 1에서 형성된 투명전극 상에 p형 실리콘층, i형 실리콘층 및 n형 실리콘층을 순차적으로 형성시켰다.
- [0123] 이때, 상기 p형 실리콘층은 SiH_4 와 수소가스의 혼합가스를 공급하며 BH_3 를 불순물로서 공급하여 화학기상증착공정(plasma-enhanced chemical vapor deposition)을 통해 형성시켰다.
- [0124] 또한, 상기 i형 실리콘층은 SiH_4 와 수소가스의 혼합가스를 공급하며 화학기상증착공정(plasma-enhanced chemical vapor deposition)을 통해 형성시켰다.
- [0125] 나아가, 상기 n형 실리콘층은 SiH_4 와 수소가스의 혼합가스를 공급하며 PH_3 를 불순물로서 공급하여 화학기상증착공정(plasma-enhanced chemical vapor deposition)을 통해 형성시켰다.
- [0126] 단계 3 : 상기 단계 2에서 형성된 n형 실리콘층 상에 금속전극으로서 Al을 열증착시켜 실리콘 박막 태양전지를 제조하였다.
- [0127] <실험예 1> TEM/EDX 분석
- [0128] 상기 실시예 1 및 비교예 1에서 제조된 태양전지의 단면을 관찰하기 위하여 에너지 분산형 X-선 분석기(Energy dispersive X-ray analyzer, EDX)가 결합된 투과전자현미경을 이용하여 분석하였으며, 그 결과를 도 4 및 도 5에 나타내었다.
- [0129] 도 4에 나타낸 바와 같이, 실시예 1에서 제조된 태양전지는 금속전극인 LiF/Al과 i형 실리콘층 사이에 n형 반도체로서 PCBM층이 존재하는 것을 알 수 있다.
- [0130] 아울러, 도 5의 에너지 분산형 X-선 분석기 결과를 통해서도 실시예 1에서 제조된 태양전지는 금속전극인 LiF/Al과 i형 실리콘층 사이에 n형 반도체로서 PCBM(도면에서 C로 표기됨)층이 존재하는 것을 확인할 수 있다.
- [0131] <실험예 2> 질량분광 분석
- [0132] 상기 실시예 1 및 비교예 1에서 제조된 태양전지의 깊이 프로파일(depth profile)을 관찰하기 위하여 2차 이온 질량 분광계(SIMS, secondary ion mass spectrometer)를 이용하여 분석하였으며, 그 결과를 도 6에

나타내었다.

[0133] 도 6에 나타낸 바와 같이, 비교예 1에서 제조된 태양전지는 탄소(C)에 해당하는 피크가 거의 검출되지 않는 것을 알 수 있으며, 이를 통해 태양전지 내에 유기물로 이루어진 구성요소가 포함되지 않는 것을 알 수 있다.

[0134] 반면, 실시예 1에서 제조된 태양전지는 탄소(C)에 해당하는 피크가 명확하게 검출되는 것을 알 수 있으며, 이를 통해 실시예 1에서 제조된 태양전지에는 PCBM, 즉 유기물로 이루어진 n-형 반도체층이 포함되어 있음을 알 수 있다.

[0135] <실험예 3> 태양전지의 전압-전류곡선 분석

[0136] 상기 실시예 1과, 비교예 2 및 3에서 제조된 태양전지의 전압-전류곡선(빛이 조사되는 경우 및 조사되지 않는 경우)을 솔라 시뮬레이터를 이용하여 분석하였고, 그 결과를 도 7에 나타내었다.

[0137] 도 7의 (a)에 나타낸 바와 같이, 빛이 조사되는 환경 하에서, 실시예 1의 태양전지는 비교예 2 및 3과 비교하여 더욱 높은 전류밀도 및 개방전압값을 나타내고 있음을 알 수 있다.

[0138] 또한, 도 7의 (b)에 나타낸 바와 같이, 빛이 조사되지 않는 어두운 환경에서는 비교예 2 및 3의 태양전지는 암 전류밀도(dark current density)가 비교적 높게 나오는 것을 알 수 있으나, 실시예 1의 태양전지는 상대적으로 가장 낮은 암전류밀도를 나타내고 있는 것을 알 수 있다.

[0139] <실험예 4> 태양전지의 광전변환효율 및 외부양자효율 분석

[0140] 상기 실시예 1에서 제조된 하이브리드 박막 태양전지와, 비교예 1 내지 4에서 제조된 종래의 실리콘 박막 태양전지의 광전변환효율을 솔라시뮬레이터 및 IPCE(incident-photon-to-current-conversion efficiency) 측정 장치를 이용하여 분석하였고, 그 결과를 하기 표 1 및 도 8에 나타내었다.

표 1

[0141]

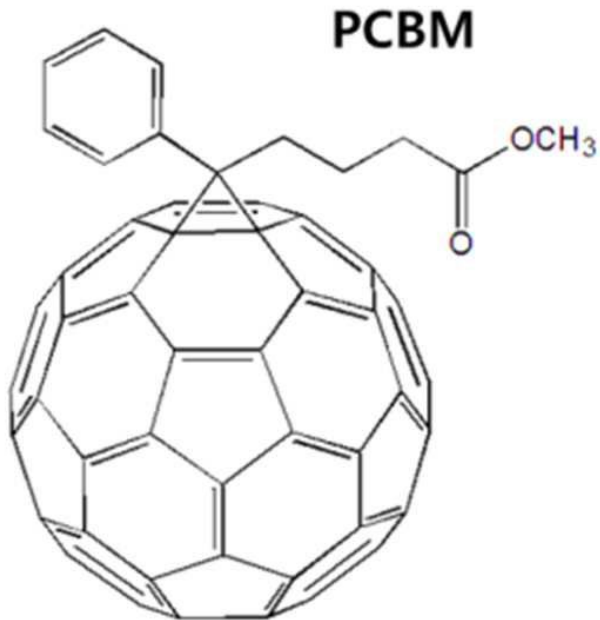
	$J_{sc}(mA/cm^2)$	$V_{oc}(V)$	Fill factor	PCE (%)	$R_{shunt}(cm^2)$	$R_{series}(cm^2)$
실시예 1	15.94	0.81	0.64	8.34	6290	5.41
비교예 1	15.90	0.81	0.60	7.83	6191	5.92
비교예 2	14.64	0.43	0.45	2.92	207	9.19
비교예 3	15.81	0.77	0.58	7.07	5970	34.27
비교예 4	15.15	0.82	0.61	7.60	6060	6.38

[0142] 상기 표 1 및 도 8 (a)에 나타낸 바와 같이, 상기 실시예 1에서 제조된 하이브리드 박막 태양전지는 비교예 1 내지 4의 실리콘 박막 태양전지와 비교하여 더욱 우수한 광전변환효율(PCE)을 나타내고 있음을 알 수 있다.

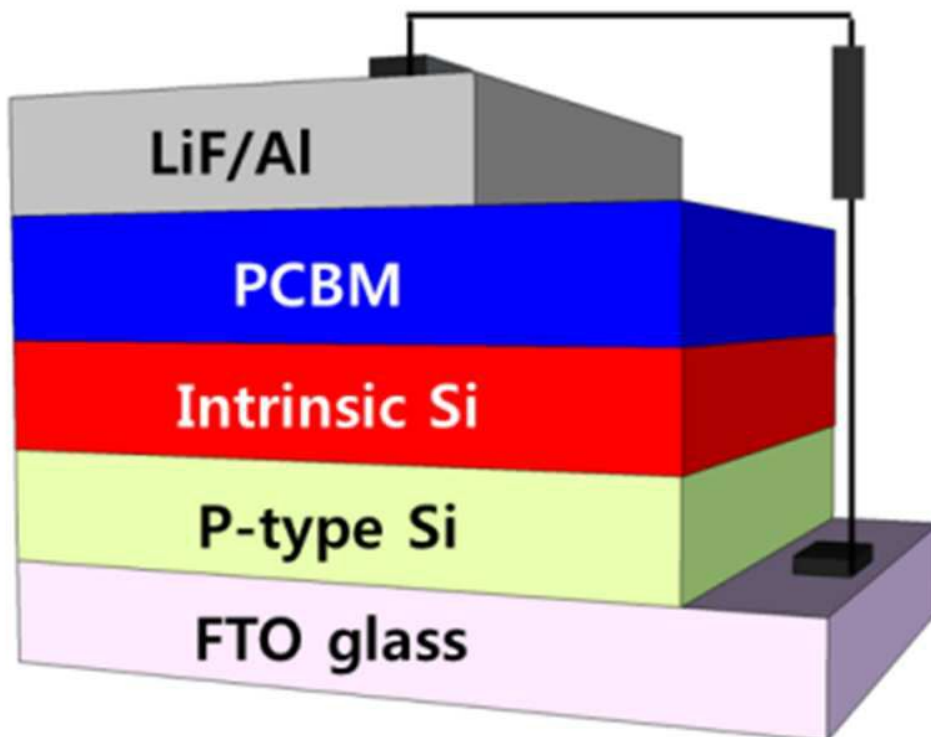
[0143] 아울러, 도 8 (b)에 나타낸 바와 같이, 외부양자효율 역시 종래의 실리콘 박막 태양전지와 비교하여 350 내지 600 nm의 파장범위에서 현저하게 향상되는 것을 확인할 수 있다. 상기 외부양자효율 결과를 통해 본 발명에 따른 하이브리드 태양전지에서 플러렌 유도체층을 포함함에 따라 종래의 실리콘 박막 태양전지보다 더욱 향상된 계면접촉이 이루어지고 있음을 예측할 수 있다.

도면

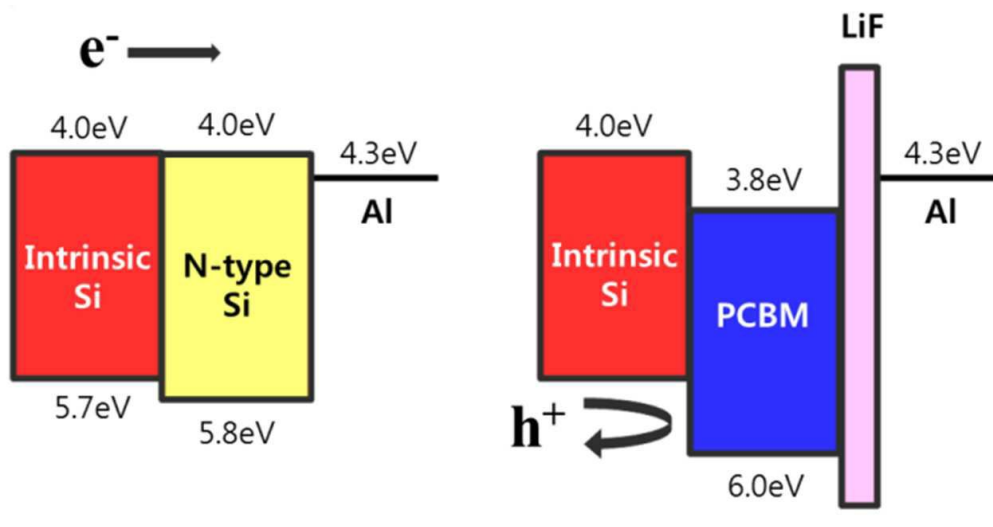
도면1



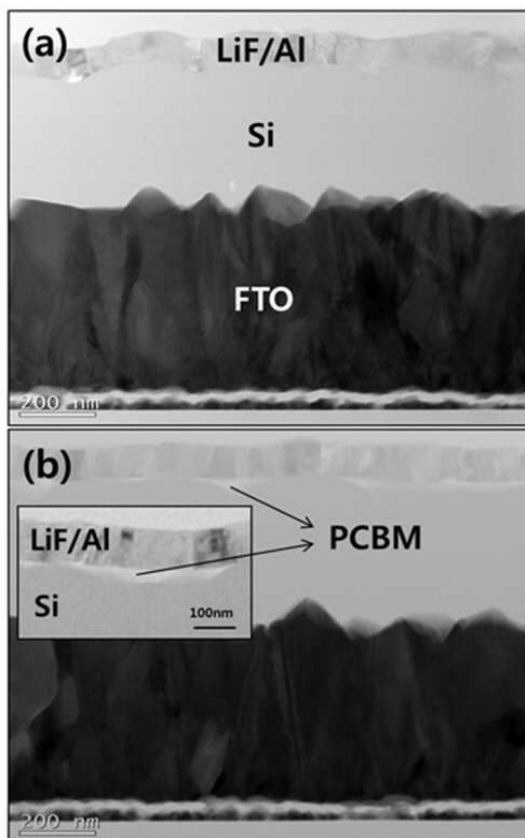
도면2



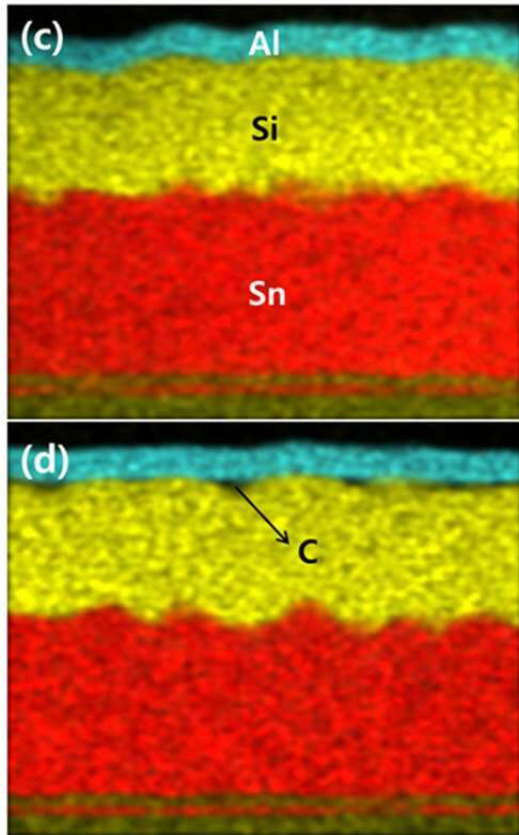
도면3



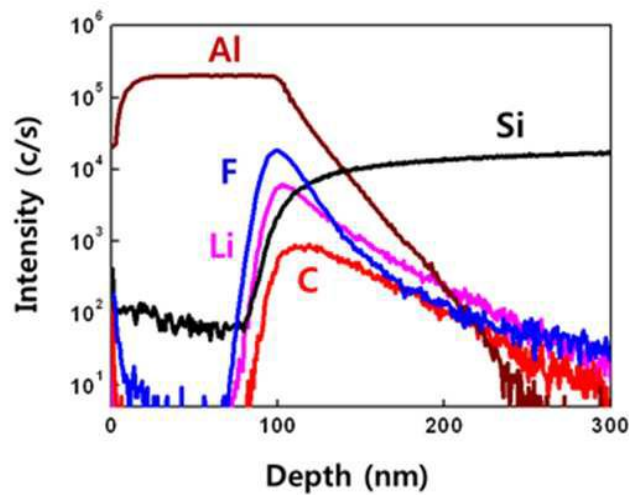
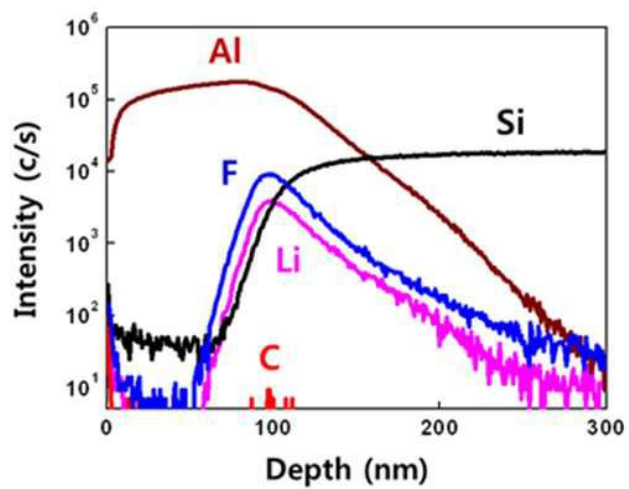
도면4



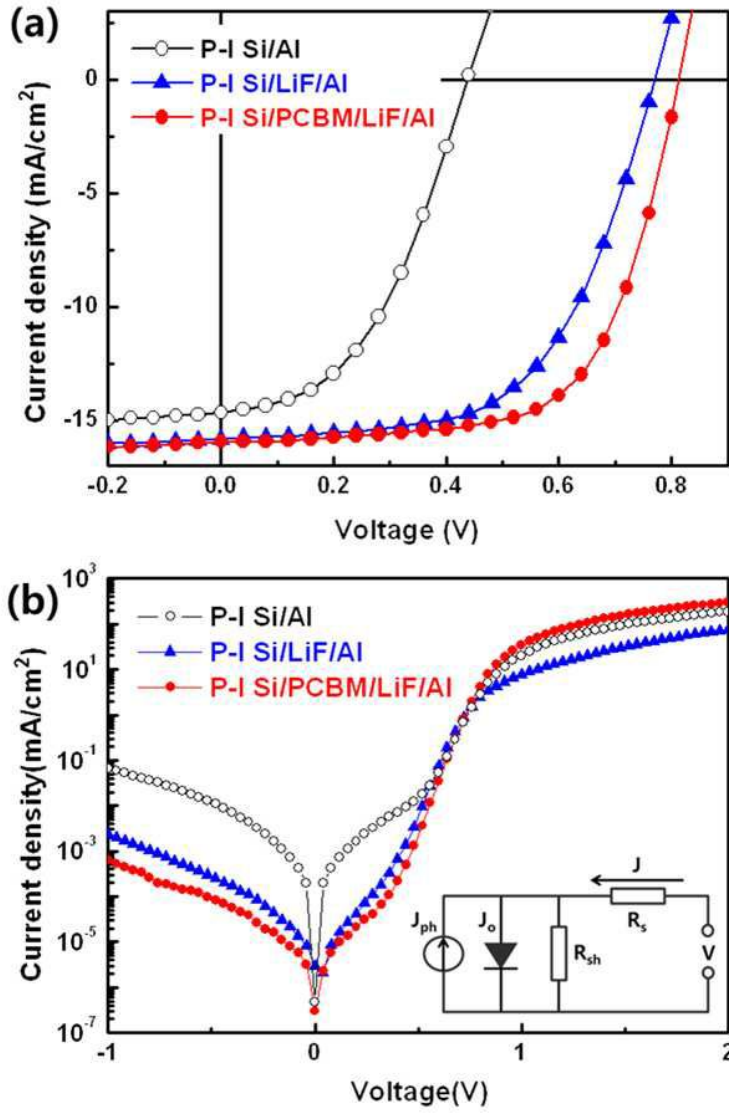
도면5



도면6



도면7



도면8

