



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2024-0052995
(43) 공개일자 2024년04월23일

- (51) 국제특허분류(Int. Cl.)
H10K 30/87 (2023.01) H10K 30/50 (2023.01)
H10K 30/82 (2023.01) H10K 30/88 (2023.01)
- (52) CPC특허분류
H10K 30/87 (2023.02)
H10K 30/50 (2023.02)
- (21) 출원번호 10-2024-7011828(분할)
- (22) 출원일자(국제) 2012년01월25일
심사청구일자 없음
- (62) 원출원 특허 10-2022-7013716
원출원일자(국제) 2012년01월25일
심사청구일자 2022년04월27일
- (85) 번역문제출일자 2024년04월09일
- (86) 국제출원번호 PCT/US2012/022543
- (87) 국제공개번호 WO 2012/103212
국제공개일자 2012년08월02일
- (30) 우선권주장
61/436,371 2011년01월26일 미국(US)

- (71) 출원인
메사추세츠 인스티튜트 오브 테크놀로지
미국 02139 메사추세츠 캠프리지 메사추세츠 애브뉴 77
- (72) 발명자
블로비크, 블라디미르
미국, 메사추세츠 02420, 렉싱턴, 16 릴리안 로드
런트, 리처드, 로얄
미국, 미시간 48864, 오케모스, 2340 클럽 메리디안 디알. 에이퍼티 비11
- (74) 대리인
허용복

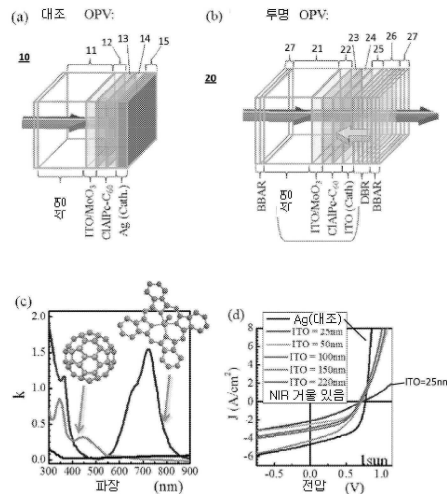
전체 청구항 수 : 총 1 항

(54) 발명의 명칭 투명 태양광 전지

(57) 요약

투명 태양광 전지와 그 제조 방법이 개시되었다. 태양광 전지는 투명 기판과 그 기판 위에 놓이는 제1 활성 물질을 포함할 수 있다. 제1 활성 물질은 약 650 나노미터 보다 더 큰 파장에서 흡수 피크를 가질 수 있다. 제2 활성 물질은 기판 위에 배치되는데, 제2 활성 물질은 가시광 스펙트럼의 파장 바깥에서 흡수 피크를 가진다. 태양광 전지는 투명 양극과 투명 음극을 또한 포함할 수 있다.

대표도 - 도1



(52) CPC특허분류

H10K 30/82 (2023.02)

H10K 30/88 (2023.02)

명세서

청구범위

청구항 1

가시적 투명 기판(visibly transparent substrate);

상기 가시적 투명 기판 상에 배치된 제1 가시적 투명 전극;

상기 제1 가시적 투명 전극 상에 배치되며 가시 영역 외부에서 흡수를 나타내는 가시적 투명 활성 물질;

상기 가시적 투명 활성 물질 상에 배치된 제2 가시적 투명 전극; 및

상기 제2 가시적 투명 전극 상에 직접 배치되며, 근적외선에 대해 반사성인 가시적 투명 다층 반사기(visibly transparent multilayer reflector); 및

상기 가시적 투명 다층 반사기 상에 직접 배치되는 광대역 반사 방지 코팅(broadband anti-reflection coating);을 포함하는, 가시적 투명 광전지.

발명의 설명

기술 분야

[0001] 본 발명은 태양광 장치 및 보다 구체적으로는, 유기 태양광 장치 분야에 관한 것이다.

[0002] 선출원에 대한 교차 참조

[0003] 본 출원은, 본원에서 그 전체가 참조로서 포함된, 2011년 1월 26일 출원된 이전의 출원인 가출원 제61/436,671호에 대한 우선권을 주장한다.

배경 기술

[0004] 태양 에너지의 이점을 취할 필요가 있는 표면 영역은 상당 부분의 재생 불가능한 에너지 소비를 상쇄시키는 것에 대한 장애물로 남아있다. 이러한 이유로, 가정, 고층건물, 및 자동차의 창문 유리판에 통합될 수 있는 저비용의, 투명한, 유기 태양광(OPV) 장치가 바람직하다. 예를 들어, 자동차와 구조물에서 사용되는 창문 유리는 가시광 스펙트럼, 예를 들어 약 450 내지 650 나노미터(nm)의 파장을 가지는 빛에 대해 통상적으로 각각 70 내지 80% 및 55 내지 90%의 투과성을 가진다. 무기 반도체의 제한된 기계적 가요성(flexibility), 높은 모듈 비용 및 더욱 중요하게는 밴드 같은 흡수는 무기 반도체의 잠재적 활용성을 투명 태양 전지로 제한한다. 반면, 유기 및 분자 반도체의 엑시톤 특성(excitonic character)은 그것들의 대응되는 무기물의 밴드 흡수와 독특하게 구별되어 최대 및 최소 흡수를 가지면서 매우 구조적인 흡수 스펙트럼을 일으킨다. 반투명 장치를 구성하려는 이전의 노력들은 가시광 스펙트럼에 집중되는 흡수를 하는 얇은 활성층(또는 물리적 구멍)의 사용에 집중되어 1% 미만인 낮은 효율 또는 약 10 내지 35%인 빛에 대한 낮은 평균 가시광 투과율(AVT)로 제한되었는데, 이러한 두 파라미터들이 동시에 최적화될 수 없기 때문이다.

발명의 내용

해결하려는 과제

[0005] 본발명은 투명 태양광 전지를 제공하는 것을 목적으로 한다.

과제의 해결 수단

[0006] 투명 태양광 전지 및 그 제조 방법이 개시되었다. 태양광 전지는 투명 기판과 그 기판 위에 놓이는 제1 활성 물질을 포함할 수 있다. 제1 활성 물질은 약 650 나노미터 보다 더 큰 파장에서 흡수 피크를 가질 수 있다. 제2 활성 물질은 기판 위에 배치되는데, 제2 활성 물질은 가시광 스펙트럼의 바깥 파장에서 흡수 피크를 가진다. 태양광 전지는 투명 양극과 투명 음극을 또한 포함할 수 있다.

- [0007] 양극과 음극 중 적어도 하나는 제1 활성 물질에서 흡수를 극대화하도록 구성될 수 있다. 양극과 음극 중 적어도 하나는 제2 활성 물질에서 흡수를 극대화하도록 구성될 수 있다. 제1 활성 물질 및 제2 활성 물질은 분리된 층에 위치될 수 있다. 제1 활성 물질은 약 450 나노미터 미만의 파장에서 제2 흡수 피크를 가질 수 있다.
- [0008] 제1 활성 물질은 도너(donor)일 수 있고 제2 활성 물질은 억셉터(acceptor)일 수 있다. 장치는 근적외선 파장에서 반사하는 거울을 또한 포함할 수 있다. 제1 활성 물질은 유기 물질을 포함할 수 있다. 제1 활성 물질은: 프탈로시아닌, 포르피린, 또는 나프탈로시아닌 염료 중 적어도 하나를 포함할 수 있다. 제1 활성 물질은 클로로알루미늄 프탈로시아닌을 포함할 수 있다. 제1 활성층은 주석 프탈로시아닌을 포함할 수 있다. 제2 활성층은 탄소 60(C₆₀) 또는 나노튜브 중 적어도 하나를 포함할 수 있다. 제1 및 제2 활성 물질은 가요성 캡슐화 층으로 사용되기 위해 구성될 수 있다.
- [0009] 태양광 전지는 투명 기관과 그 기관 위에 놓이는 제1 활성 물질을 포함할 수 있다. 제1 활성 물질은 약 650 나노미터 보다 더 큰 파장에서 제1 흡수 피크를 가질 수 있다. 태양광 전지는 기관 위에 놓이는 제2 활성 물질을 포함할 수 있는데, 제2 활성 물질은 약 650 나노미터를 초과하거나 약 450 나노미터 미만의 파장에서 제2 흡수 피크를 가진다. 태양광 전지는 투명 양극 및 투명 음극을 또한 포함할 수 있다.
- [0010] 태양광 전지는 각각 가시광 스펙트럼 바깥 파장에서 흡수 피크를 가지는 제1 및 제2 서브셀(subcell) 사이에 배치된 재결합 구간, 투명 양극 및 투명 음극을 포함할 수 있다. 태양광 전지는 투명 또는 반투명할 수 있다.
- [0011] 태양광 전지를 제조하는 방법은 기관에 제1 전극 물질을 만드는 단계를 포함하는데, 전극 물질과 기관은 가시광에 대해 투명하다. 적어도 하나의 층이 만들어질 수 있는데, 그 층은 약 650 나노미터를 초과하는 파장에서 흡수 피크를 가지는 제1 활성 물질과 가시광 스펙트럼의 바깥 파장에서 흡수 피크를 가지는 제2 활성 물질을 가진다. 제2 전극은 가시광에 대해 투명한 물질로 만들어질 수 있다. 그 방법은 적외선 흡수 활성층에서 근적외선의 흡수가 극대화되도록 제1 또는 제2 전극 중 적어도 하나의 두께를 선택하는 단계를 포함할 수 있다. 방법은 근적외선을 위한 다중층 거울을 만드는 단계를 또한 포함할 수 있다.
- [0012] 방법은 제1 및 제2 서브셀을 만드는 단계를 포함할 수 있는데, 제1 및 제2 서브셀 각각은 가시광 스펙트럼의 바깥 파장에서 흡수 피크를 가진다. 재결합 구간은 제1 및 제2 서브셀 사이에 배치될 수 있다. 투명 양극 및 투명 음극이 또한 만들어질 수 있다. 태양광 전지는 투명하거나 반투명할 수 있다.

도면의 간단한 설명

- [0013] 도 1의 (a)는 대조(control) 태양전지의 개략도를 나타낸다;
- 도 1의 (b)는 전체 투명 태양 전지 구현예의 개략도를 나타낸다;
- 도 1의 (c)는 도 1의 (a)와 1(b)에서 나타낸 활성층의 소멸 계수, k를 나타내는 그래프이다;
- 도 1의 (d)는 도 1의 (a)와 1(b)에서 나타낸 CIAIP_c-C₆₀ 대조 전지와 투명 전지에 대한 전류-전압(J-V) 곡선을 나타내는 그래프이다;
- 도 2의 (a)는 인듐-주석 산화물(ITO) 두께가 증가함에 따라 직렬 저항이 약화되고 충전율(fill factor, FF)이 대조 전지를 위한 값에 가깝게 포화되는 것을 나타내는 그래프이다;
- 도 2의 (b)는 n_p가 거의 같은 양으로 증가하도록 최적 두께인 120 nm에서 3x 배로 광전류가 증가하는 것을 나타내는 그래프이다;
- 도 3의 (a)는 ITO 및 대조층의 몇몇 두께에 대한 파장의 함수로서 외부 양자 효율(EQE)을 나타내는 그래프이다;
- 도 3의 (b)는 ITO와 대조층의 몇몇 두께에 대한 파장의 함수로서 투과도 %를 나타내는 그래프이다;
- 도 3의 (c)는 태양 시뮬레이터 강도를 측정하기 위해 사용되는 기준-다이오드에 대한 NREL 보고된 mc-Si 외부 양자 효율(EQE)과 Xe-램프의 특성을 나타내는 측정된 태양 시뮬레이터 스펙트럼을 나타낸다;
- 도 3의 (d)는 투명한, NIR 거울로서 본 연구에서 사용된 분배 브래그 리플렉터(distributed Bragg reflector)의 측정된 반사율과 계산된 반사율을 나타낸다;
- 도 4의 (a)와 4(b)는 완전히 조립된 장치의 투명도를 강조하기 위해 “장미” 그림 앞에 위치한 태양 전지 어레이를 나타낸다;

- 도 4의 (c)는 LCD 시계에 연결된 태양 전지 어레이를 나타낸다;
- 도 4의 (d) 및 4(e)는 완전히 조립된 장치의 투명도를 강조하기 위해 “산” 그림 앞에 위치한 태양 전지 어레이의 또 다른 구현예를 나타낸다;
- 도 4의 (f)는 LCD 시계에 연결된 완전한 회로 어셈블리의 그림이다;
- 도 5의 (a)는 SnPc 장치에 대한 파장의 함수로서 외부 양자 효율(EQE)을 나타내는 그래프이다;
- 도 5의 (b)는 SnPc 장치에 대한 파장의 함수로서 투과도 %를 나타내는 그래프이다;
- 도 6의 (a)는 SnPc와 ClAlPc 설계의 비교를 나타내는 그래프이다;
- 도 6의 (b)는 ITO 양극 두께의 효과를 나타내는 그래프이다;
- 도 6의 (c) 및 6(d)는 NIR 거울이 없는 양극과 음극 ITO 두께의 함수로서 투명 OPV 구조물의 평균 가시광 투과도(AVT, 왼쪽 컬럼) 및 단락 전류(오른쪽 컬럼)의 전송 매트릭스 시뮬레이션을 나타낸다;
- 도 6의 (e)와 6(f)는 NIR 거울이 있는 음극과 양극 ITO 두께의 함수로서 투명 OPV 구조물의 평균 가시광 투과도(AVT, 왼쪽 컬럼)와 단락 전류(오른쪽 컬럼)의 전송 매트릭스 시뮬레이션을 나타낸다;
- 도 7은 도너와 억셉터 둘 다 포함하는 혼합층을 가지는 장치의 블록도이다;
- 도 8은 탠덤 장치의 블록도이다;
- 도 9의 (a) 및 9(b)는 탠덤 장치를 최적화하기 위해 사용될 수 있는 서로 다른 밴드 갭을 나타내는 그래프이다;
- 도 10의 (a) 및 (b)는 본원에서 개시된 몇몇 구현예의 실제 효율 한계를 나타내는 그래프이다;
- 도 11은 태양열 유속 및 인간 눈의 명순응 반응을 나타내는 도면이다; 그리고
- 도 12는 본원에 개시된 바와 같은 태양광 어레이를 포함하는 전자책 단말기(e-reader), 스마트 폰 및 디스플레이 스크린을 나타내는 도면이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

- [0014] 개선된 투명 태양 전지 설계, 예를 들어 투명 유기 태양광 장치(TOPV)가 본원에서 설명되었다. 본원에서 사용되는 투명이라는 용어는 45% 이상인 직선 투과 범의 평균 가시광 투명도를 포함한다. 본원에서 사용되는 반투명이라는 용어는 약 10% 내지 45%인 직선 투과 범의 평균 가시광 투명도를 포함한다. 일반적으로, 설계는 가시광 스펙트럼 바깥에서, 예를 들어, 자외선(UV) 및/또는 근적외선(NIR) 태양 스펙트럼에서 강한 흡수 특성을 가지는 분자 활성층을 포함한다. 장치는 선택적 고반사율 NIR 및 광대역 반사 방지 집속 코팅을 포함할 수 있다. 장치는, 도너로서 클로로알루미늄 프탈로시아닌(ClAlPc) 또는 SnPc와 같은 유기 활성층과 억셉터로서 작용하고 UV 및 NIR 태양 스펙트럼에서 피크-흡수를 가지는 C₆₀과 같은 분자 활성층을 가지는 헤테로 접합(heterojunction) 태양 전지로서 만들어질 수 있다. 활성층으로서 다른 적절한 물질들은 임의의 적절한 프탈로시아닌, 포르피린, 나프탈로시아닌 염료, 탄소 나노튜브 또는 가시광 스펙트럼 바깥에서 흡수 피크를 가지는 분자 엑시톤 물질을 포함한다. 이러한 장치는 재결합 구간을 통해 연결된 하나 이상의 서브셀을 가지는 탠덤(tandem) 구조로 만들어질 수 있다. 이러한 장치는 데스크탑 모니터, 랩탑 또는 노트북 컴퓨터, 태블릿 컴퓨터, 휴대폰, 전자책 단말기(e-reader) 등에서 사용되는 경성(rigid) 및 가요성의 컴퓨터 디스플레이 스크린을 포함하는 다양한 응용에 사용될 수 있다. 다른 응용은 시계 유리, 선루프를 포함하는 자동차와 구조물 유리, 및 프라이버시 유리(privacy glass)를 포함한다. 태양광 장치는 능동적 전력 발생기, 예컨대 완전한 자가 발전 제품 및 배터리 충전(또는 배터리 수명 연장)을 위해 사용될 수 있다.
- [0015] 본원에서 인용되는 바와 같은 근적외선(NIR)은 약 650 내지 약 850 나노미터(nm) 범위의 파장을 가지는 빛으로 정의된다. 본원에서 인용되는 바와 같은 자외선(UV)은 약 450 nm 미만의 파장을 가지는 빛으로 정의된다. NIR과 UV에서 흡수를 하는 활성층의 사용은 장치 성능을 최적화시키기 위해 선택적 고반사율 근적외선 거울 코팅의 사용을 허용하면서 또한 전체 장치를 통한 가시광의 높은 투과도를 허용한다. 본원에서 인용되는 바와 같은 가시광은 인간의 눈이 확실한 반응을 보이는 약 450 내지 약 650 nm의 파장을 가지는 빛으로 정의된다.
- [0016] 일 구현예에서, 장치는 150 nm의 유리 기판 위에 미리 코팅된 패턴화된 인듐 주석 산화물(ITO)(15 Ω/sq.)로 만들어졌다. ITO는 전극의 일 구성성분이다. ITO는 용매가 제거된 후 고진공 챔버(1×10^{-6} Torr)에 장입하기 바로

전 30초 동안 산소 플라즈마에서 처리되었다. CIAIPc 및 C₆₀은 장입 전에 진공 트레인 승화(vacuum train sublimation)에 의해 한번 정제되었다. 바소쿠프로인(bathocuproine, BCP)과 몰리브덴 삼산화물(MoO₃)은 구매하여 사용하였다. MoO₃은 전극의 다른 구성성분이다. MoO₃(20 nm), CIAIPc(15 nm), C₆₀(30 nm), BCP(7.5 nm) 및 100 nm 두께의 Ag 양극이 0.1 nm/s의 속도로 열증착을 통해 연속적으로 도포되었다. 투명 장치에 대한 상부 ITO 양극은 낮은 전력(7 내지 25 W)에서 10 sccm Ar 플로우(6 mTorr)와 0.005 내지 0.3 nm/초로 유기층 위에 직접 rf-스퍼터링되었다. 양극은 섀도우 마스크(shadow mask)를 통해 증발되어, 1 밀리미터(mm) x 1.2 mm인 활성 장치 영역을 정의하였다. 투명 NIR 거울로서 활용되는 근적외선 분배 브래그 리플렉터(distributed Bragg reflector, DBR)가 800 nm(200 nm 정지 대역)의 파장 전후로 중심을 가지는 두께로 약 0.1 nm/초로 TiO₂와 SiO₂의 7개 교차층 스퍼터링을 통해 석영에 개별적으로 성장되었다. 석영 기판(1-면)에 미리 코팅된 광대역 반사 방지(BBAR) 코팅은 추가적인 유리/공기 계면 반사를 줄이기 위해 지수가 맞는 유체를 통해 DBR에 부착되었다. 조립된 장치의 투과도 데이터는 기준 샘플 없이 Cary Eclipse 5000 듀얼-빔 분광광도계(spectrophotometer)로 수직 입사에서 얻었다. 전류 밀도 대 전압(J-V) 특성은 암흑에서 측정되었고 태양 불일치 보정 없이(기준을 위해, 불일치 인자는 ~1.05로 추정하였다) AM1.5G 솔라 일루미네이션(AM1.5G solar illumination) 하에 시뮬레이션되었고, 외부 양자 효율(EQE) 측정은 NREL 보정 Si 검출기를 활용하여 수집되었다. 광학 간섭 모델링은 그 내용이 본원에서 참조로 포함된 L.A.A. Pettersson, L.S.Roman, 그리고 O.Ingnas의 Journal of Applied Physics 86, 487(1999)에서의 방법에 따라 수행되었다. CIAIPc 및 C₆₀의 엑시톤 확산 길이는 광전류와 EQE의 크기를 각각 5±3 nm 및 10±5 nm가 되도록 맞추어 추정하였다.

[0017]

도 1의 (a)는 대조 태양 전지(10)의 개략도를 나타낸다. 대조 태양 전지는 기판(11), 음극(12), 도너층(13), 예를 들어 CIAIPc, 엑셉터층(14)으로 작용하는 분자 활성층, 예를 들어 C₆₀, 및 양극(15)을 포함한다. 이 예에서, 음극(15)은 예를 들어 은으로, 불투명하다. 도 1의 (b)는 전체 투명 태양 전지(20)의 개략도를 나타낸다. 장치(20)는 일반적으로, 투명 기판(21), 음극(22), 도너층(23), 예를 들어 CIAIPc, 엑셉터층(24)으로 작용하는 분자 활성층, 예를 들어 C₆₀, 및 양극(25)을 포함한다. 도너층(23)과 엑셉터층(24)은 자외선(UV) 및 근적외선(NIR) 스펙트럼에서 흡수 피크를 가진다. 이 예에서, 기판은 석영이다. 다양한 경성 및 가요성 기판이 사용될 수 있다는 것이 이해되어야 한다. 예를 들어, 기판은 유리, 경성 또는 가요성 폴리머, 예를 들어 스크린 보호기 또는 피막일 수 있거나, 또는 캡슐화층, 반사방지층 등과 같은 다른 층과 결합될 수 있다. 이러한 예에서, 투명 음극(22) 및 양극(25)은 전도성 산화물, 예를 들어 ITO/MoO₃로 만들어진다. 음극(22)과 양극(25)은 다른 물질들, 예컨대 주석 산화물, 불화 주석 산화물, 나노튜브, 폴리(3,4-에틸렌디옥시티오펜)(PDOT) 또는 PEDOT:PSS(폴리(3,4-에틸렌디옥시티오펜)폴리(스티렌술포네이트)), 갈륨이 도핑된 아연 산화물, 알루미늄이 도핑된 아연 산화물 및 적절한 투명성 및 전도성을 가지는 다른 물질들로 만들어질 수 있는 것으로 이해되어야 한다. 장치(20)는 근적외선 DBR(26) 및 하나 이상의 광대역 반사방지(BBAR) 코팅(27)을 또한 포함할 수 있다.

[0018]

도 1의 (c)는 도 1의 (a)와 1(b)에서 나타난 활성층의 소멸 계수, k를 나타내는 그래프이다. 도 1의 (d)는 ITO 두께 범위에서 도 1의 (a) 및 도 1의 (b)의 CIAIPc-C₆₀ 대조 및 투명 전지에 대한 전류-전압(J-V) 곡선을 나타내는 그래프이다. CIAIPc에 대한 흡수 피크는 NIR 범위(~740 nm)에 위치된다. 이는 NIR 반사 거울의 통합과 도 1의 (a) 및 도 1의 (b)에서 그려진 바와 같이 태양 전지 성능과 가시광 투과율의 동시 최적화를 가능하게 한다. 도너층 및/또는 엑셉터층은 가시광 스펙트럼 바깥에서 하나 이상의 흡수 피크를 가질 수 있다는 것이 이해되어야 한다. 이러한 예에서, CIAIPc는 또한 UV 범위에서 제2 흡수 피크를 가질 수 있다. 다양한 장치 성능의 요약이 표 1에서 제공된다.

표 1

양극두께 (nm)	양극조성	J_{sc} (mA/cm ²)	V_{oc} (V)	FF -	η_p (%)	AVT (%)
100	Ag	4.7	0.77	0.55	2.4	0
20	ITO	1.5	0.69	0.39	0.5	67
120	ITO	3.2	0.71	0.46	1.3	65
20	ITO/NIR거울	2.2	0.73	0.32	0.6	53
40	ITO/NIR거울	2.5	0.71	0.49	1.1	55
80	ITO/NIR거울	2.9	0.71	0.46	1.2	56
120	ITO/NIR거울	4.4	0.71	0.44	1.7	56
170	ITO/NIR거울	3.2	0.69	0.48	1.3	66

[0019]

[0020]

표 1은 일반적으로 태양 스펙트럼 불일치에 대해 보정된 0.8 선 일루미네이션(sun illumination)에서 Ag 양극이 있는 대조 OPV, ITO 양극이 있는 투명 OPV, 및 ITO 양극과 NIR 거울이 있는 OPV의 성능을 나타내는 데이터를 포함한다. 단락 전류 J_{sc}, 개방 회로 전압 V_{oc}, 충전율(fill factor) FF, 전력 전환 효율 η_p , 및 평균 가시광 투과도 AVT가 표시되었다. 두꺼운 Ag 양극이 있는 대조 장치는 1.9±0.2%인 전력 전환 효율(η_p), 개방 회로 전압(V_{oc}) = 0.80±0.02 V, 단락 전류 밀도(J_{sc}) = 4.7±0.3 mA/cm², 및 충전율(FF) = 0.55±0.03을 나타내는데, 이는 이전 보고들과 비교할 만하다.

[0021]

대조 전지의 Ag전극이 ITO로 대체될 때, 단락 전류 J_{sc}는 1.5±0.1 mA/cm²로 현저하게 떨어지고, FF는 0.35±0.02로 떨어지며, 그리고 개방 회로 전압 V_{oc}는 0.7±0.02 V로 소폭 감소하여 η_p = 0.4±0.1%가 되게 한다. FF 감소는 도 1의 (c)에서의 순방향 바이어스 하에서 J-V 곡선에서 볼 수 있는 얇은 ITO로부터 직렬 저항에 있어서 증가에 기인한다. 도 2의 (a)는 ITO 두께가 증가함에 따라 직렬 저항이 감소하고 FF가 대조 전지에 대한 값에 가깝게 포화되는 것을 보여주는 그래프이다. 도 2의 (a) 및 2(b)에서, 실선은 실제 시뮬레이션에 의한 것이고, 점선은 보기 위한 단순한 안내선이다. ITO 두께와 무관한 약간의 V_{oc} 감소는 양극-음극 일함수 오프셋(offset)에서 약간의 감소에 기인하였을 수 있다. 그럼에도 불구하고, 양극과 음극 모두로서 ITO를 활용할 때 이러한 큰 V_{oc}를 지원하기 위해 일 함수에서 충분한 증착 비대칭성이 있고 큰 일 함수 MoO₃층에 의해 도움 받기 쉽다는 것이 주목할 만하다.

[0022]

활성층에서 스펙트럼을 가로지르는 총 흡수를 감소시키는 감소된 양극 반사로 인해 양극이 Ag로부터 ITO로 변환됨에 따라 J_{sc}는 감소하게 된다. 도 2의 (b)는 η_p 가 거의 동일한 양으로 증가하게 되도록 120 nm인 최적 두께에서 3x의 인자로 광전류가 증가하는 것을 보여주는 그래프이다. 공간섭 모델로 이러한 데이터를 핏팅(fitting)하는 것은 이러한 거동이 후면 ITO 양극 반사의 간섭으로부터 기인한다는 것을 보여준다. 도 3의 (a)는 ITO의 몇몇 두께에 대해서와 NIR 반사 거울이 있는 경우와 없는 경우의 대조층에 대한 파장의 함수로서 EQE를 나타내는 그래프이다. 대략적 가시광 명순응 범위가 수직의 점선으로 강조되었다. 도 3의 (b)는 ITO의 몇몇 두께와 대조층에 대한 파장의 함수로서 투과도 %를 나타내는 그래프이다. ITO만 있는 장치의 EQE 및 투과도와 비교하면, 가장 얇은 두께와 최적화된 두께에 대한 흡수가 동등하게 나타난다. 하지만, 시뮬레이션 검사는 NIR 필드 분포가 ITO 양극 두께가 증가함에 따라 ITO 음극 내에서부터 CIAIPc 활성층으로 이동하는 것을 보여주며, 총 투과도는 활성층 흡수가 상당히 변함에도 불구하고 동일하게 나타나게 된다. 이는 투명 OPV 구조물의 중요한 양태를 강조한다; 겉보기에 단순한 광학 구성에도 불구하고, 간섭 관리는 특히 NIR 흡수 전지에 대해서 그리고 낮은 엑시톤 확산 길이를 가지는 물질에 대해서, 장치 최적화에 여전히 결정적이다.

[0023]

광전류에 있어 상당한 영향에도 불구하고, 평균 가시광 투과율(AVT)은 ITO 두께에 따라 거의 변하지 않는 것을 보인다(예를 들어 도 2의 (a) 참조). 광학 모델은 모델 파라미터의 불확실성 또는 더 두꺼운 ITO 성장 중 변하는 광학 상수로 인해 실험적으로 가능하게 관찰되지 않는, ITO 두께에 따른 AVT에서 소량의 감소를 예측한다.

NIR 거울 없는 최적화된 전지는 450 nm(540 nm)에서 최소(최대) 50%(74%)인 투과도 값과 65%인 AVT(표준편차 7%)를 나타낸다. 이러한 투과도 값은 NIR 리플렉터의 통합으로 450 nm(560 nm)에서 최소(최대) 47%(68%)인 투과도 값과 56%(표준편차 5%)인 AVT로 약간 감소하는데, 이러한 감소는 거울의 증가된 비공진(off-resonance) 가시광 반사에 기인한다. NIR 거울이 없는 전지에 가깝게 AVT를 향상시키기 위해 더 복잡한 열-거울 구조물을 설계함에 의해 가시광 스펙트럼에서 비공진 반사 오실레이션을 제거하는 것이 가능하지만, 이는 통상적으로 많은 수의 층을 요구하게 된다. 열 거울 구조물은 본원에서 참조로 포함된 A. Thelen의 Thin Film for Optical Systems 1782, 2(1993)에서 설명되었다. 695 내지 910 nm 사이에서 99%인 높은 반사율은 또한 이러한 장치를 구조물 냉각에서 NIR 동시 제거에 유용하게 만든다. 부가적으로, DBR 옆(아웃커플링(outcoupling))과 기관 아래(인커플링(incoupling))에서 BBAR 코팅의 사용은 양자 효율의 약 2 내지 3%, 그리고 AVT의 약 4 내지 6%의 동시 증가를 일으킨다.

[0024] 도 3의 (c)는 태양 시뮬레이터 강도(오른쪽 축)를 측정하기 위해 사용된 기준-다이오드에 대한 NREL 보고된 mc-Si 외부 양자 효율(EQE)과 Xe-램프의 특성을 나타내는 측정된 태양 시뮬레이터 스펙트럼(왼쪽 축)을 나타낸다. 기준 다이오드의 반응성은 OPV 전지의 반응을 현저하게 넘어 연장되기 때문에, (AM1.5G 스펙트럼과 비교하여) 태양 시뮬레이터로부터 추가의 NIR 빛은 1 미만인 태양 불일치 인자를 일으킨다. 도 3의 (d)는 투명한, NIR 거울로서 본 연구에서 사용된 분배 브래그 리플렉터의 측정된(왼쪽 축, 원) 그리고 계산된(왼쪽 축, 실선) 반사율을 나타낸다. 또한, 광대역 반사방지(BBAR) 코팅의 투과 스펙트럼(오른쪽 축)을 나타내었다.

[0025] 완전하게 조립된 장치의 투명도를 강조하기 위해, 도 4의 (a)와 도 4의 (b)는 “장미” 그림 앞에 있는 태양 전지 어레이를 보여준다. 그림의 세부사항과 색 선명성 모두 최소한으로 방해되어 장치 어레이 패턴의 세부사항이 구분하기에 훨씬 어렵게 된다. 이러한 예에서, 어레이는 공통의 양극(25a)과 복수의 음극(22a)을 가진다. 장치는 또한 도너층(들), 억셉터층(들) 및 반사 거울들을 포함하는 활성 영역(30)을 포함한다. 이러한 특정 예에서, 10개의 개별 OPV 장치 어레이가 기관(21a)에 형성된다. 도 4의 (c)는 LCD 시계에 전력을 공급하기 위해 연결된 어레이를 나타낸다. 도 4의 (d) 및 4(e)는 완전하게 조립된 장치의 투명도를 강조하기 위해 “산” 그림 앞에 위치한 태양 전지 어레이의 대안적인 구현예를 보여준다.

[0026] 도 4의 (f)는 완전한 회로 어셈블리의 그림(왼쪽)이다. 전기적 연결은 탄소 테이프를 통해 OPV 장치(어레이)의 ITO 접촉으로 만들어졌다. LCD 시계는 전압을 제한하고 시계가 넓은 범위의 OPV 조명 조건에서 작동하도록 작은 LED에 초과 전류를 통과시키는 전기 회로망(오른쪽)에 연결된다. LCD 시계는 약 1.5 V 와 10 μ A를 필요로 하고 0.05 sun 이상의 강도인 태양 전지에 의해 구동될 수 있다(주변 빛이 0.01 sun 미만이면 시계는 꺼진다는 것을 참고).

[0027] 양극 두께만으로 투명 OPV 구조를 최적화하면, $1.0 \pm 0.1\%$ 인 전력 전환 효율이 얻어지고, 동시에 $66 \pm 3\%$ 인 평균 투과도를 얻는다. NIR 리플렉터와 최적화된 ITO 두께를 가지는 BBAR 코팅의 통합(도 2의 (a) 참조)은 $56 \pm 2\%$ 인 평균 투과도를 가지면서 전력 전환 효율을 $1.4 \pm 0.1\%$ 까지 향상시킨다. NIR 거울로, 전력 전환 효율에 있어 증가하는 EQE가 10%로부터 18%로 피크 CIAIPc EQE의 거의 두 배를 나타내는(도 3의 (a) 참조) CIAIPc층에서 추가적 NIR 광전류로부터 기인한다. 최적화된 전력 효율은 기존의 가시광-흡수, 반투명, 구리 프탈로시아닌 평면 장치의 거의 세배이면서도 또한 30% 이상의 평균 투과도를 나타내지만, 가시광에서 활성층 흡수로부터 효율을 얻고 이어서 거의 절반의 투과도를 가지는 반투명 벌크-헤테로접합(bulk-heterojunction) 구조보다 다소 덜 효율적(0.75x)이다.

[0028] 이러한 구조에서 평면으로부터 벌크-헤테로접합으로 전환하면, 거의 동일한 가시광 투과도로 설정된 이러한 물질에 대해 2 내지 3%의 효율이 가능할 수 있고 현재 조사 중에 있다. 적외선으로 더 깊은 활성층 흡수를 가지는 서브셀의 탠덤 적층(Tandem stacking)은 이러한 효율을 또한 증강시킬 수 있다; 더 정교한 NIR 거울과 결합되어, 수 퍼센트를 넘는 효율과 70%를 초과하는 평균 가시광 투과도가 가능하다.

[0029] 다른 구현예에서, SnPc, 예를 들어 SnPc-C₆₀은 투명 태양 전지를 만들기 위해 사용될 수 있다. SnPc에 기초한 태양 전지 설계는 70%를 초과하는 가시광 투과도(가시광 스펙트럼을 가로지르는 평균 투과도가 ~70%)를 가지면서 2%를 초과하는 효율의 태양 전지를 얻을 수 있다. 다음의 층들이 이 예에서 사용되었다: ITO/SnPc(10 nm)/C₆₀(30 nm)/BCP(10 nm)/ITO(10 nm)/DBR. 이 예에서, ITO는 직접적으로 스퍼터링된다. 분배 브래그 리플렉터(DBR)는 지수 맞춤 유체(IMF)와 같이 적용된다. 도 5의 (a)는 SnPc 장치에 대한 파장의 함수로서 EQE를 나타내는 그래프이다. 도 5의 (b)는 전체 TOPV SnPc 장치에 대한 파장의 함수로서 투과율을 나타내는 그래프이다. 다양한 장치 성능의 요약표 2에서 제공하였다:

표 2

양극	J_{sc}	V_{oc}	FF	η (%)
Ag	6.15	0.40	0.55	1.3
ITO	1.54	0.33	0.48	0.2
ITO-DBR	2.25	0.34	0.44	0.3

[0030]

[0031]

장치는 금속/산화물(예를 들어, $TiO_2/Ag/TiO_2$) 또는 유전체 적층(예를 들어 SiO_2/TiO_2 로 구성된 DBR) 중 어느 하나로 이루어지는 (가시광에 투명한) NIR 거울을 포함할 수 있다. 반사방지 코팅은 단일 또는 다중층 유전체 물질로 이루어질 수 있다. 상술한 바와 같이, 분자 활성층은 임의의 적절한 프탈로시아닌, 포르피린, 나프탈로시아닌 염료, 탄소 나노튜브, 또는 가시광 스펙트럼 바깥에 흡수 피크를 가지는 분자 엑시톤 물질로 또한 이루어질 수 있다.

[0032]

도 6의 (a)는 SnPc 및 ClAlPc 기준 (불투명) 설계 사이의 비교를 나타내는 그래프이다. 다양한 장치 성능의 요약이 표 3에서 제공되었다:

표 3

도너	두께	J_{sc}	V_{oc}	FF	η (%)
SnPc	100	6.15	0.40	0.50	1.2
ClAlPc	200	4.70	0.77	0.55	2.0

[0033]

[0034]

도 6의 (b)는 전기장과 ITO 양극 두께의 효과를 나타내는 그래프이다. 고정된 파장에서 위치의 함수로서 투명 OPV의 계산된 광학 필드인 $|E|^2$ 는 20 nm(검은색 선) 및 120 nm(붉은색 선)인 ITO 양극 두께에 대한 ClAlPc 활성층(~740 nm)의 피크 흡수에 가깝다. 흡수가 위치에 대해 적분된 $|E|^2$ 에 비례하는, 최적화된 ITO 두께에 대한 ClAlPc 층 내의 필드의 강화를 주목해야 한다. 일반적으로, ITO 두께에 강한 상관성이 있다.

[0035]

도 6의 (c)와 6(d)는 NIR 거울 없는 음극과 양극 ITO 두께의 함수로서 투명 OPV 구조물의 평균 가시광 투과도(AVT, 왼쪽 컬럼)와 단락 전류(오른쪽 컬럼)의 전송 매트릭스 시뮬레이션을 나타낸다. 도 6의 (e)와 6(f)는 NIR 거울이 있는 음극과 양극 ITO 두께의 함수로서 투명 OPV 구조물의 평균 가시광 투과도(AVT, 왼쪽 컬럼)와 단락 전류(오른쪽 컬럼)의 전송 매트릭스 시뮬레이션을 나타낸다. 수직 점선은 이 연구에서 활용된 ITO 음극의 두께를 나타낸다. 활성층 구조는 음극/ MoO_3 (20 nm)/ClAlPc(15 nm)/ C_{60} (30 nm)/BCP(7.5 nm)/양극이고 여기서 ClAlPc와 C_{60} 의 엑시톤 확산 길이는 대조 전지의 광전류와 EQE의 크기를 각각 8 ± 4 nm와 15 ± 6 nm가 되도록 피팅함으로써 추정되었다.

[0036]

도 1의 (b)에서 나타낸 구조는 도너, 예를 들어 ClAlPc 또는 SnPc와 억셉터, 예를 들어 C_{60} 에 대한 개별 층을 포함한다. 도너와 억셉터는 도 7에서 일반적으로 나타낸 바와 같은 단일 또는 혼합된 층에서 결합될 수 있는 것으로 이해되어야 한다. 이러한 구현예에서, 장치(40)는 도너와 억셉터 모두를 포함하는 혼합된 층(46)을 가질 수 있다. 혼합된 층은 일반적으로 도시된 바와 같이 두께 d_{mixed} 를 가진다. 장치(40)는 개별 도너층(48) 및/또는 억셉터층(46)을 선택적으로 포함할 수 있다. 도너층(48)은, 만일 있다면, 도시된 바와 같이 두께 d_{donor} 를 가진다. 억셉터층(46)은, 만일 있다면, 도시된 바와 같이 두께 $d_{acceptor}$ 를 가진다. 도 7은 명확성을 위해 단순화되었고 도시되지 않은 추가적인 층들을 포함할 수 있는 것으로 이해되어야 한다. 이 예에서, 장치(40)는 투명 양극(42)과 투명 음극(50)을 또한 포함한다. 각 층의 두께는 일반적으로 위에서 설명된 바와 같이 선택될 수 있다. 이러한 구조는 본원에서의 다양한 구현예에서 개시된 바와 같은 반사방지층 및 거울층을 포함하는 다른 층

들을 또한 포함할 수 있다는 것이 이해되어야 한다.

[0037]

최적화 공정은 일반적으로 다음과 같이 수행될 수 있다:

[0038]

i) d_{Donor} , d_{Acceptor} (합계)의 최적화;

[0039]

ii) d_{Donor} , d_{Acceptor} (합계)를 확정;

[0040]

iii) d_{mixed} 를 변동;

[0041]

iv) $d_{\text{Donor}} = d_{\text{Donor}}(\text{합계}) - (d_{\text{mixed}}/2)$;

[0042]

v) $d_{\text{Acceptor}} = d_{\text{Acceptor}}(\text{합계}) - (d_{\text{mixed}}/2)$; 및

[0043]

vi) 비율($d_{\text{Donor}}:d_{\text{Acceptor}}$)의 최적화

[0044]

혼합된 층만을 가지는 장치에 대해, 최적화는 혼합된 층의 두께의 조정(단계 iii) 및 $d_{\text{Donor}}:d_{\text{Acceptor}}$ 비율의 조정(단계 vi)을 포함할 수 있다.

[0045]

도 8은 탠덤 장치(60)의 블록도이다. 장치(60)는 일반적으로 적어도 제1 및 제2 셀(66, 68)을 포함한다. 각 셀은 일반적으로 상술한 구조를 가질 수 있다. 제1 및 제2 셀(66, 68) 기능 각각은 투명 서브셀을 가진다. 각각은 변동하는 NIR 스펙트럼 반응성을 가질 수 있다. 제1 및 제2 셀 각각은 가시광 스펙트럼의 바깥파장에서 흡수 피크를 가질 수 있다. 재결합 구간(72a)은 제1 및 제2 셀(66, 68) 사이에 배치된다. 재결합 구간은, 예를 들어 ITO(0.5 내지 10 nm), 또는 BCP/Ag(0.1 내지 2 nm)/MoO_x 를 포함하는 다양한 화합물들로 이루어질 수 있다. 추가적인 재결합 구간은 참조부호(72b)로 일반적으로 나타낸 바와 같이 연속되는 서브셀 쌍 사이에 위치된다. 도 8은 명확성을 위해 단순화되었고 도시되지 않은 추가의 층들을 포함할 수 있는 것으로 이해되어야 한다. 이러한 예에서, 장치(60)는 또한 양극(62)과 음극(70)을 포함할 수 있다. 장치는 선택적으로 투명 NIR 거울(62)을 포함할 수 있다. 도 9의 (a) 및 9(b)는 장치를 최적화시키기 위해 사용될 수 있는 재료, 예를 들어, US J. Aggregate(도 9의 (a)) 및 탄소 나노튜브(도 9의 (b))와 관련되는 서로 다른 밴드 갭을 나타내는 그래프이다.

[0046]

다수의 밴드 갭은 원하는 효율로 장치를 생산하기 위해 탠덤 장치에 적층된 연속 층들에 대해 선택될 수 있다는 것이 이해되어야 한다. 이러한 장치에서, 개별적으로 만들어지고 후에 통합되거나 거시적으로 결합된 장치에 대해 전체적인 투명도가 향상된다. 이것이 가능한 것은 이러한 장치가 연속적인 계면층들 사이의 각 경계에서 가깝게 매칭되는 굴절률의 장점이 있기 때문이다. 적층된 구조는 투명하거나 반투명할 수 있다.

[0047]

도 10의 (a) 및 (b)는 본원에서 개시된 몇몇 구현예의 실제 효율 한계를 나타내는 그래프이다. 도 11은 태양열 유속(solar flux) 및 인간 눈의 명순응 반응을 나타내는 도면이다. 일반적으로, 인간 눈의 명순응 반응은 녹색 스펙트럼인 530 내지 500 nm에서 피크이고 450 nm 아래와 650 nm 위에서 점차 줄어든다.

[0048]

도 12는 각각의 디스플레이 스크린에 배치된 태양광 어레이(86, 88 및 90)을 포함하는 전자책 단말기(80), 스마트폰(82) 및 디스플레이 스크린(84)을 나타내는 도면이다. 다양한 장치가 본원에서 개시된 태양광 장치 및/또는 그러한 장치의 어레이를 포함할 수 있다는 것이 이해되어야 한다. 다른 응용은 시계 유리, 선루프를 포함하는 자동차와 구조물 유리 및 프라이버시 유리(privacy glass)를 포함한다. 태양광 장치는 능동적 전력 발생기를 위해, 예컨대 완전한 자가 발전 제품 및 배터리 충전(또는 배터리 수명 연장)을 위해 사용될 수 있다.

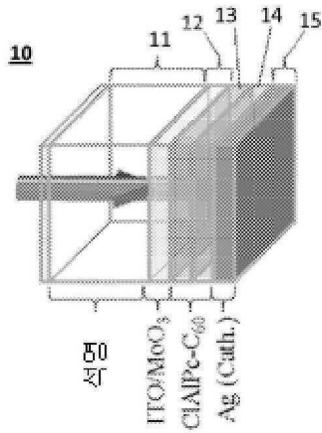
[0049]

결과적으로, $1.4 \pm 0.1\%$ 인 최대 전력과 $55 \pm 2\%$ 를 넘는 평균 가시광 투과도를 가지는, 근적외선을 흡수하는, 투명 평면 유기 태양 전지가 설명되었다. 이러한 평균 가시광 투과도는 구조물 유리에 포함되기에 충분히 투명하다. 유기 반도체의 엑시톤 특성은 무기물 반도체를 통해 쉽게 접근할 수 없는 독특한 태양광 구조물을 만들도록 유리하게 활용된다. 선택적으로 NIR에서 활성층 흡수를 위치시킴으로써, 불투명한 대조 전지에 근접하는 투명 태양 전지 효율을 일으키는 800 nm에 중심이 있는 DBR 거울로 이루어진 NIR 리플렉터를 사용하여 구조물을 최적화시키는 것이 가능하다. 결국 이러한 장치는 전력을 생산하고, 냉각 비용을 낮추며 다양한 용도에서 에너지를 쓸 어내도록 창문에 활용될 수 있는 고효율 및 고투명성 태양 전지를 얻기 위한 지침을 제공한다.

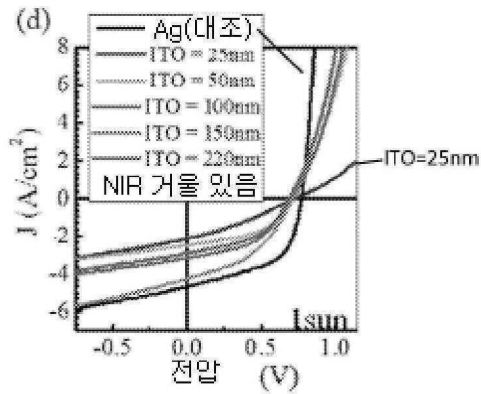
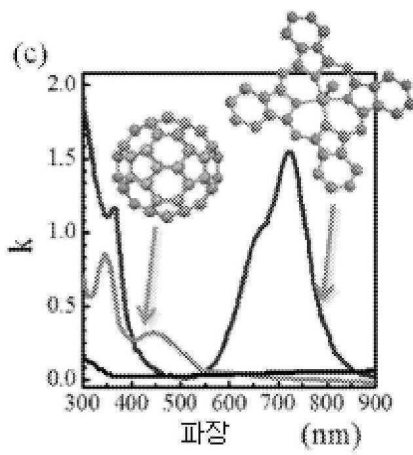
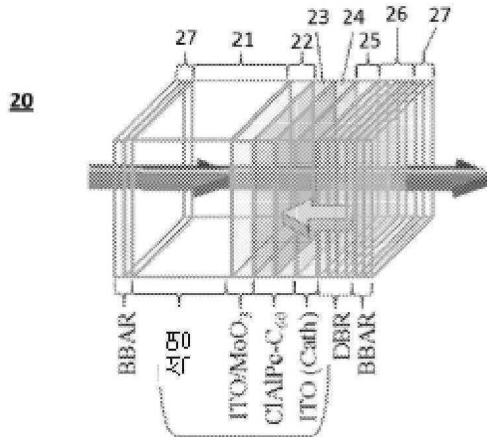
도면

도면1

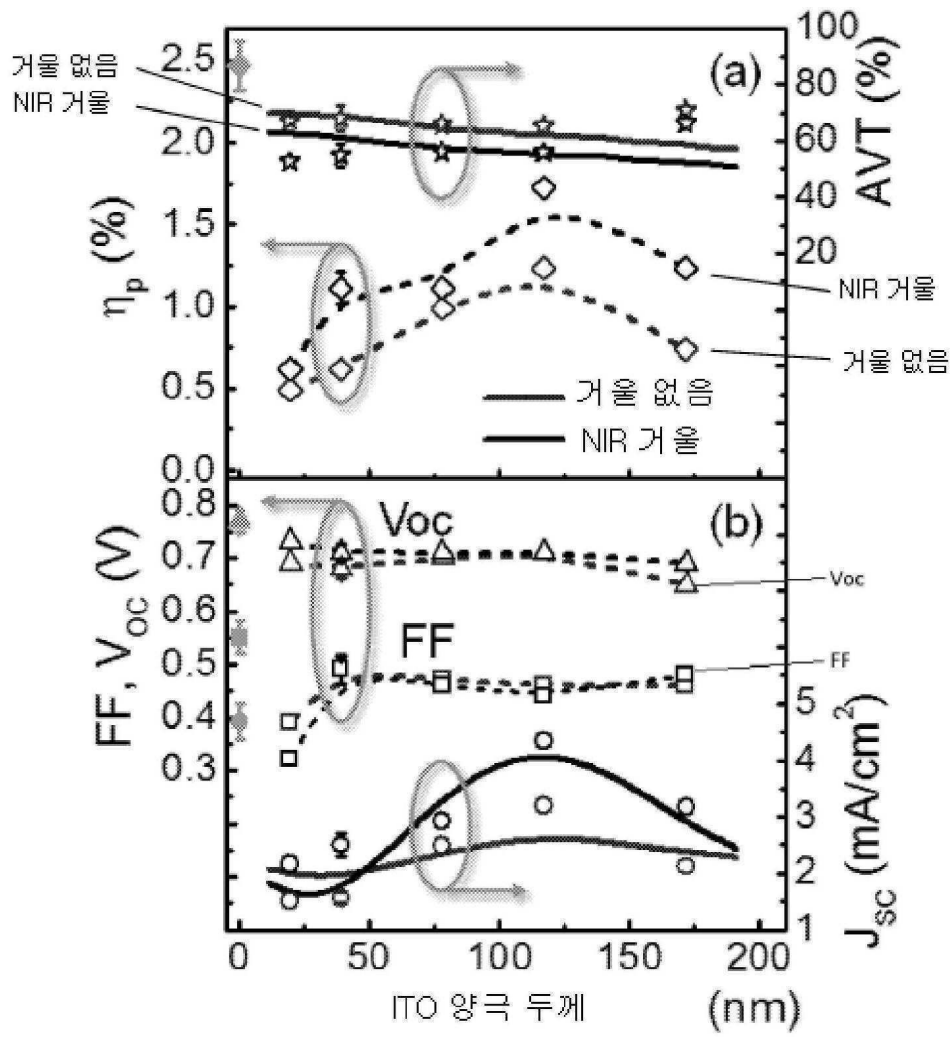
(a) 대조 OPV:



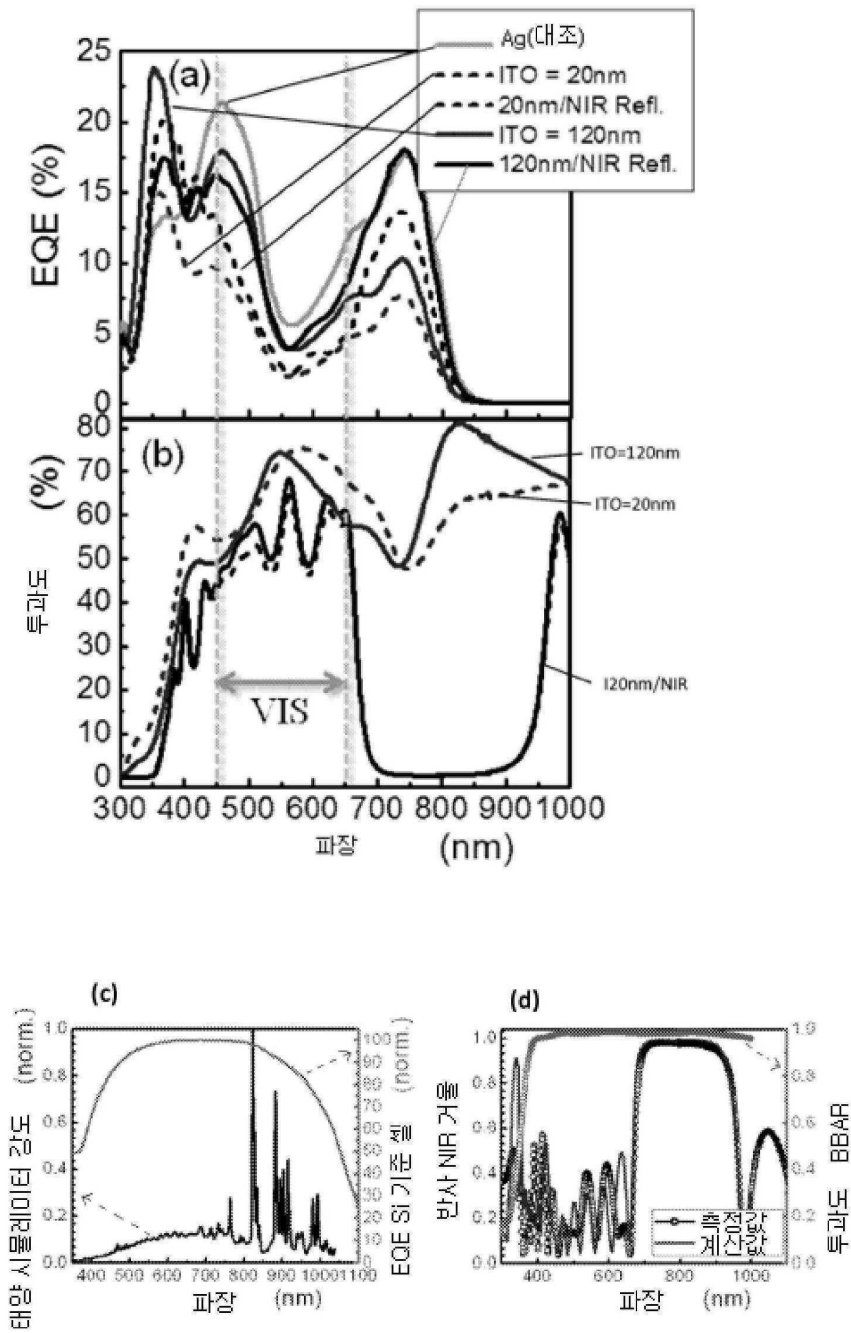
(b) 투명 OPV:



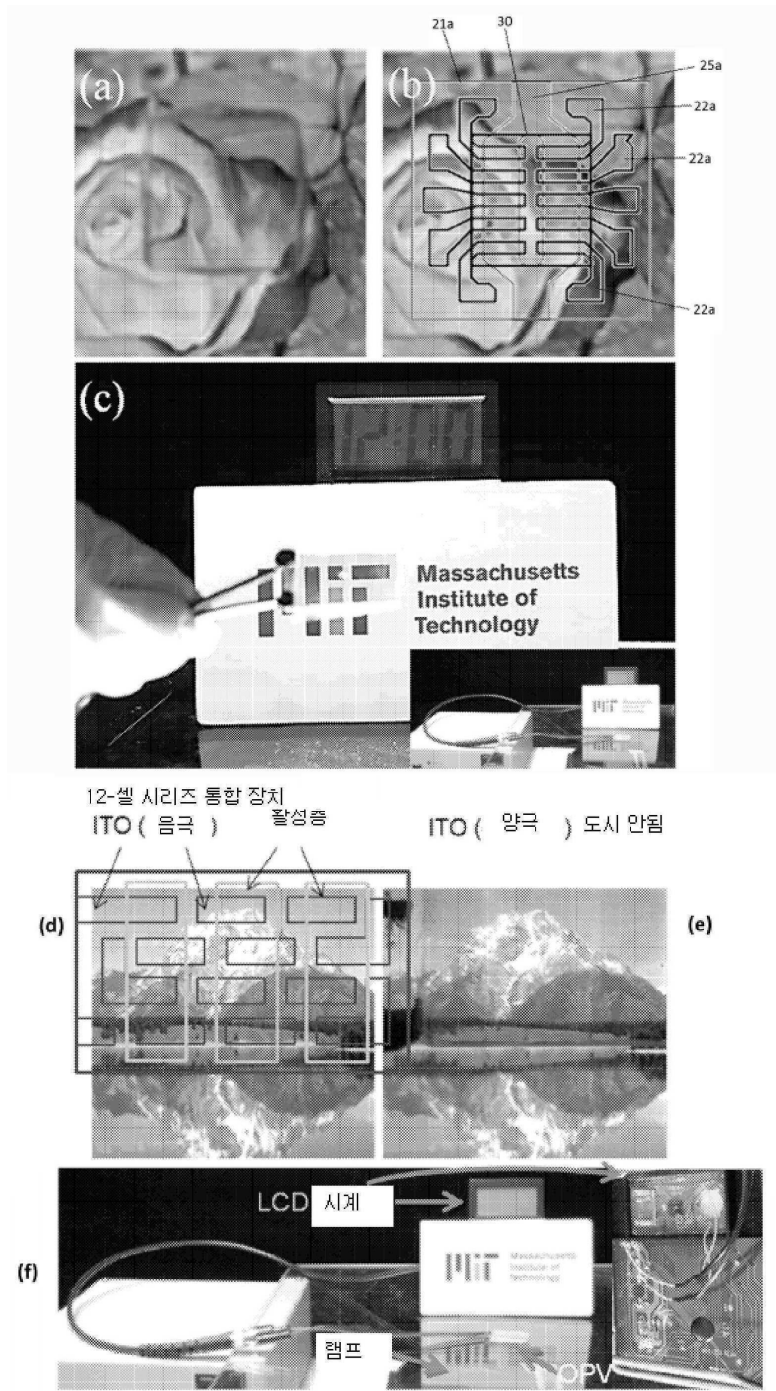
도면2



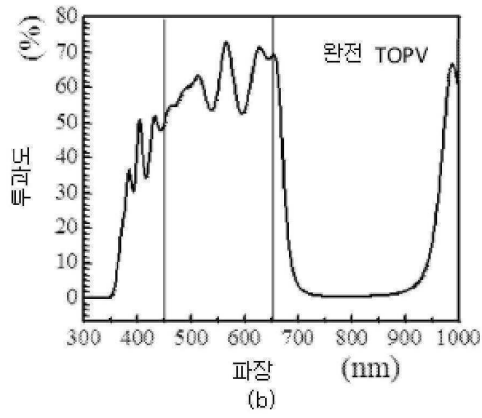
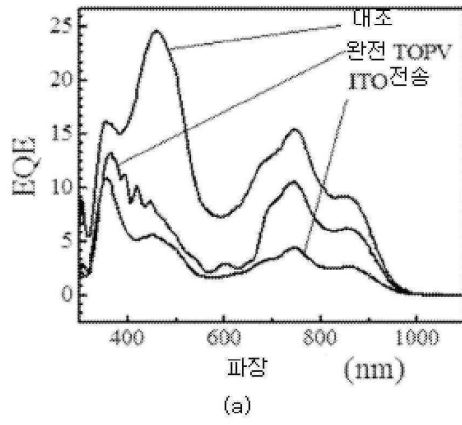
도면3



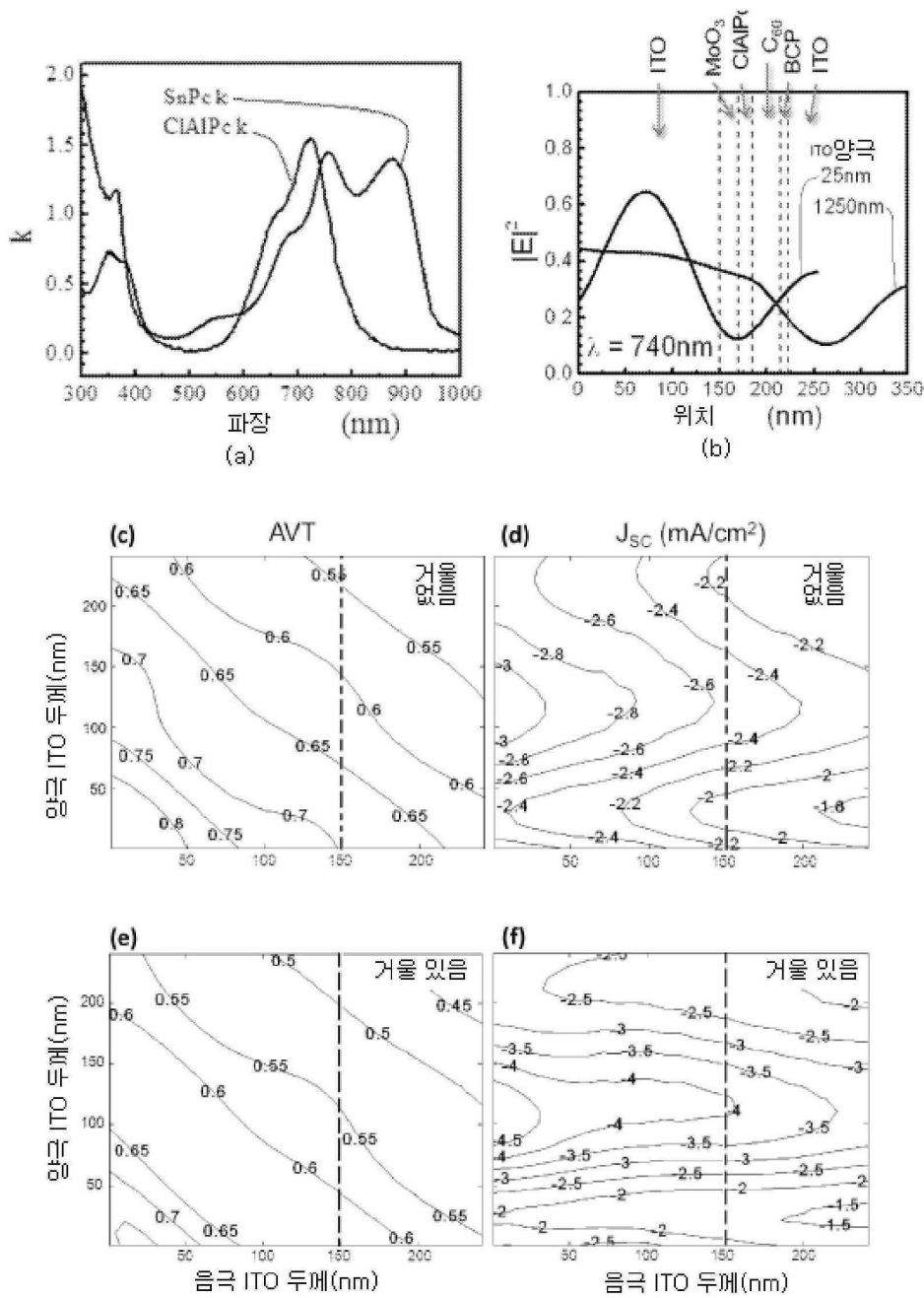
도면4



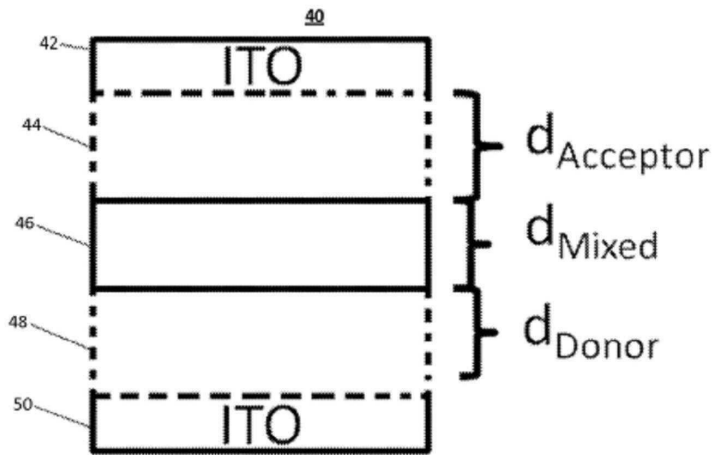
도면5



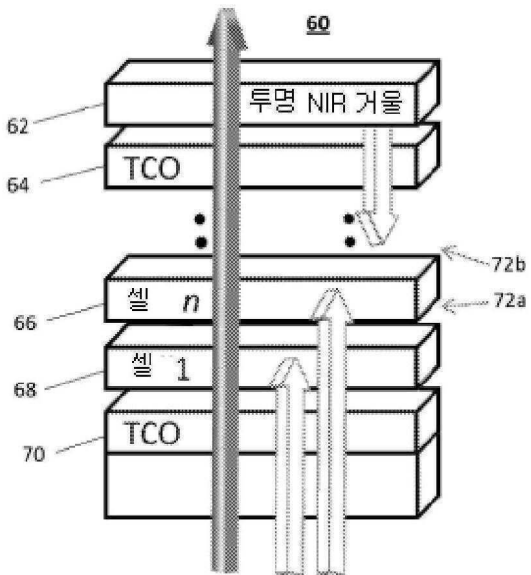
도면6



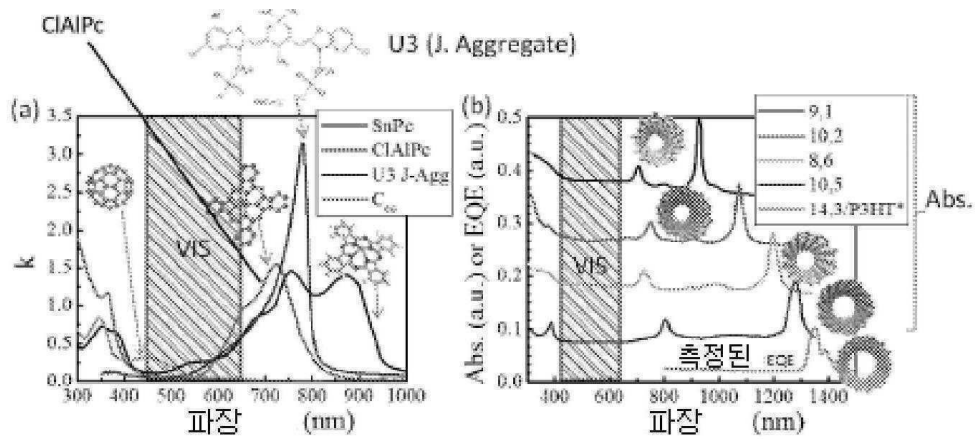
도면7



도면8

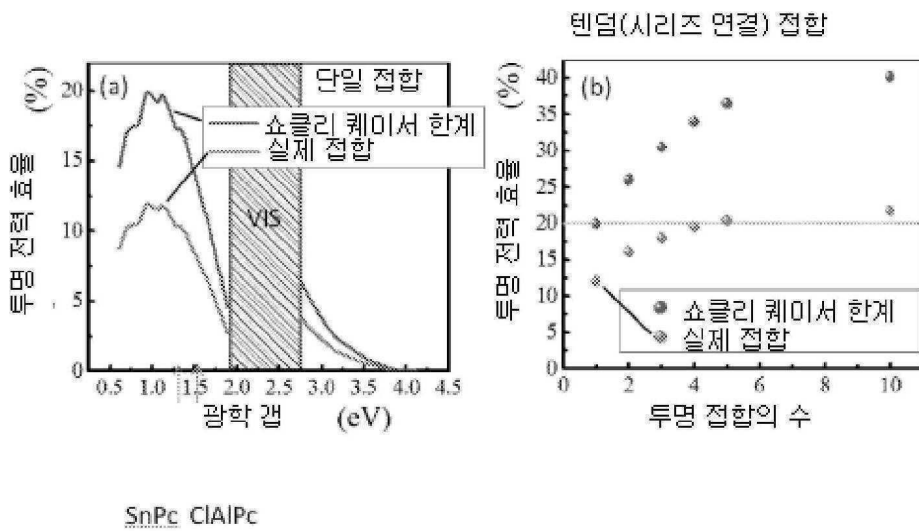


도면9



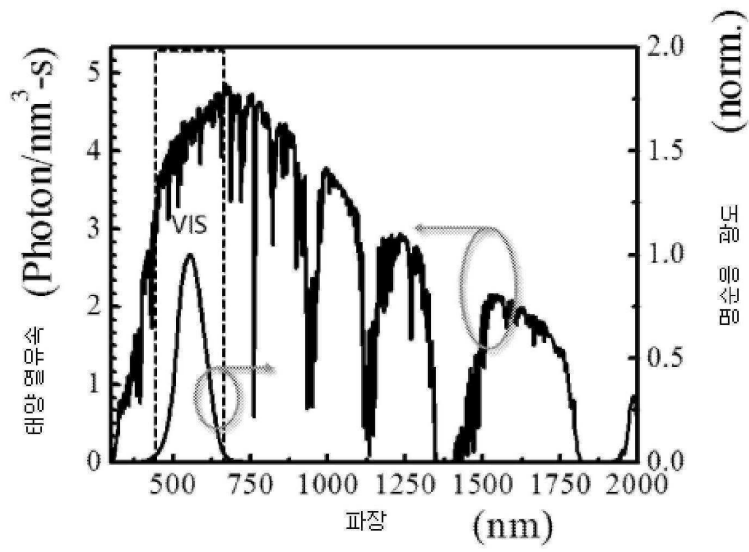
14,3 나노튜브로 시험적으로 할당되어 제조된 장치

도면10



SnPc CIAIPc

도면11



도면12

