



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2015-0038353
(43) 공개일자 2015년04월08일

- (51) 국제특허분류(Int. Cl.)
H01L 51/42 (2006.01) H01L 31/0256 (2006.01)
H01L 51/00 (2006.01)
- (52) CPC특허분류
H01L 51/4246 (2013.01)
H01L 51/0046 (2013.01)
- (21) 출원번호 10-2015-7004921
(22) 출원일자(국제) 2013년07월31일
심사청구일자 없음
- (85) 번역문제출일자 2015년02월25일
(86) 국제출원번호 PCT/US2013/053061
(87) 국제공개번호 WO 2014/022580
국제공개일자 2014년02월06일
- (30) 우선권주장
61/678,497 2012년08월01일 미국(US)
- (71) 출원인
더 리젠츠 오브 더 유니버시티 오브 미시간
미국 48109 미시간주 앤 아버 세컨드 플로어 휴론
파크웨이 1600 오피스 오브 테크놀로지 트랜스퍼
- (72) 발명자
라시터 브라이언
미국 94107 캘리포니아주 샌 프란시스코 아파트먼트
트 1 시플리 스트리트 271
짐머만 제라미 디
미국 48105 미시간주 앤 아버 볼고스 씨클 3276
포레스트 스테판 알
미국 48104 미시간주 앤 아버 락 크릭 코트 336
- (74) 대리인
김진희, 김태홍

전체 청구항 수 : 총 22 항

(54) 발명의 명칭 전극 버퍼층을 갖는 유기 광전자 소자

(57) 요약

애노드 및 캐소드를 포함하고 서로 중첩되어 있는 2 개의 전극, 상기 2 개의 전극 사이에 위치하여 공여체-수용체 헤테로접합을 형성하는 하나 이상의 공여체 물질 및 하나 이상의 수용체 물질, 애노드에 인접하는 애노드 버퍼층 및 캐소드에 인접하는 캐소드 버퍼층, 및 애노드 버퍼층 및 캐소드 버퍼층 중 적어도 하나에 인접하는 중간층을 포함하는 유기 광전자 소자가 개시되며, 중간층이 애노드 버퍼층에 인접할 경우, 중간층은 애노드 버퍼층으로의 정공의 전달을 촉진하도록 선택되고, 중간층이 캐소드 버퍼층에 인접할 경우, 중간층은 캐소드 버퍼층으로의 전자의 전달을 촉진하도록 선택된다. 또한, 이의 제조 방법이 개시된다.

대표도 - 도2

캐소드
MoO ₃ 30nm
Ag 0.1nm
PTCBI 5nm
C ₇₀ 10nm
13nm DPSQ
MoO ₃ 20nm
애노드
유리

(52) CPC특허분류

H01L 51/0053 (2013.01)

H01L 2031/0344 (2013.01)

Y02E 10/549 (2013.01)

명세서

청구범위

청구항 1

애노드 및 캐소드를 포함하고 서로 중첩되어 있는 2 개의 전극;

상기 2 개의 전극 사이에 위치하여 공여체-수용체 헤테로접합을 형성하는 하나 이상의 공여체 물질 및 하나 이상의 수용체 물질;

애노드에 인접하는 애노드 버퍼층 및 캐소드에 인접하는 캐소드 버퍼층으로서, 전이 금속 산화물 및 전도성 중합체에서 독립적으로 선택되는 애노드 버퍼층 및 캐소드 버퍼층; 및

애노드 버퍼층 및 캐소드 버퍼층 중 적어도 하나에 인접하는 중간층을 포함하는 유기 광전자 소자로서,

중간층이 애노드 버퍼층에 인접할 경우, 중간층은 애노드 버퍼층으로의 정공의 전달을 촉진하도록 선택되고,

중간층이 캐소드 버퍼층에 인접할 경우, 중간층은 캐소드 버퍼층으로의 전자의 전달을 촉진하도록 선택되는 유기 광전자 소자.

청구항 2

제1항에 있어서, 애노드 버퍼층 및 캐소드 버퍼층은 독립적으로 전이 금속 산화물로부터 선택되는 것인 소자.

청구항 3

제1항에 있어서, 전이 금속 산화물은 MoO_3 , V_2O_5 , WO_3 , CrO_3 , Co_3O_4 , NiO , ZnO , 및 TiO_2 인 소자.

청구항 4

제2항에 있어서, 애노드 버퍼층 및 캐소드 버퍼층은 동일한 전이 금속 산화물을 포함하는 것인 소자.

청구항 5

제4항에 있어서, 동일한 전이 금속 산화물은 MoO_3 인 소자.

청구항 6

제1항에 있어서, 중간층은 Ni, Ag, Au, Al, Mg, Pt, Pd, Cu, Ca, Ti, 및 In에서 선택되는 것인 소자.

청구항 7

제1항에 있어서, 중간층은 전이 금속 산화물에서 선택되는 것인 소자.

청구항 8

제1항에 있어서, 중간층은 금속 나노입자, 나노클러스터 또는 나노로드를 포함하는 것인 소자.

청구항 9

제1항에 있어서, 중간층은 두께가 5 nm 이하인 것인 소자.

청구항 10

제1항에 있어서, 중간층은 평균 두께가 1 nm 이하인 것인 소자.

청구항 11

제1항에 있어서, 중간층은 애노드 버퍼층에 인접하고, 소자는 캐소드 버퍼층에 인접하는 제2 중간층을 더 포함

하며, 제2 중간층은 캐소드 버퍼층으로의 전자 전달을 촉진하도록 선택되는 것인 소자.

청구항 12

제1항에 있어서, 애노드 및 공여체 물질 및 캐소드 및 수용체 물질 중 적어도 하나의 사이에 위치하는 엑시톤 차단층을 더 포함하는 것인 소자.

청구항 13

제1항에 있어서, 2 개의 전극이 금속, 금속 대체물, 전도성 산화물, 전도성 중합체, 그래핀, 탄소 나노튜브에서 선택되는 것인 소자.

청구항 14

제13항에 있어서, 2 개의 전극 중 적어도 하나는 투명한 것인 소자.

청구항 15

제14항에 있어서, 투명 전극에 대향하는 전극은 반사성인 것인 소자.

청구항 16

제14항에 있어서, 투명 전극에 대향하는 전극은 적어도 반투명한 것인 소자.

청구항 17

제13항에 있어서, 2 개의 전극은 적어도 반투명한 것인 소자.

청구항 18

제12항에 있어서, 적어도 하나의 엑시톤 차단층은 BCP, BPhen, NTCDA, PTCBI, TPBi, Ru(acac)₃, 및 Alq₂ OPH에서 선택되는 물질을 포함하는 것인 소자.

청구항 19

애노드 및 캐소드를 포함하고 서로 중첩되어 있는 2 개의 전극;

상기 2 개의 전극 사이에 위치하여 공여체-수용체 헤테로접합을 형성하는 하나 이상의 공여체 물질 및 하나 이상의 수용체 물질;

애노드에 인접하는 애노드 버퍼층 및 캐소드에 인접하는 캐소드 버퍼층에서 선택되고, 전이 금속 산화물 및 전도성 중합체에서 독립적으로 선택되는 하나 이상의 버퍼층; 및

하나 이상의 버퍼층에 인접하는 중간층

을 포함하는 유기 광전자 소자로서,

중간층이 애노드 버퍼층에 인접할 경우, 중간층은 애노드 버퍼층으로의 정공의 전달을 촉진하도록 선택되고,

중간층이 캐소드 버퍼층에 인접할 경우, 중간층은 캐소드 버퍼층으로의 전자의 전달을 촉진하도록 선택되는 유기 광전자 소자.

청구항 20

제19항에 있어서, 중간층은 Ni, Ag, Au, Al, Mg, Pt, Pd, Cu, Ca, Ti, 및 In에서 선택되는 것인 소자.

청구항 21

제19항에 있어서, 중간층은 금속 나노입자, 나노클러스터 또는 나노로드를 포함하는 것인 소자.

청구항 22

제19항에 있어서, 중간층은 MoO₃, V₂O₅, WO₃, CrO₃, Co₃O₄, NiO, ZnO, 및 TiO₂에서 선택되는 것인 소자.

발명의 설명

기술 분야

- [0001] 관련 출원 교차 참조
- [0002] 본 출원은 그 전문이 본원에 참고로 포함된 2012년 8월 1일자 출원된 미국 가출원 61/678,497호를 우선권 주장한다.
- [0003] 연방정부 지원 연구에 대한 진술
- [0004] 본 발명은 미국 에너지국에 의해 부여된 DE-SC0000957 및 미국 공군 과학연구소에 의해 부여된 FA9550-10-1-0339호 계약하에 미국 정부 지원으로 이루어졌다. 정부는 본 발명에 일정 권리를 갖는다.
- [0005] 공동 연구 협약
- [0006] 당해 발명은 합동 산학 연구 협약에 따라 유니버시티 오브 미시간 및 글로벌 포토닉 에너지 코퍼레이션 당사자 중 하나 이상에 의하여, 이를 대신하여 및/또는 이와 연계하여 완성되었다. 협약은 당해 발명이 완성된 일자에 및 상기 일자 이전에 발효되었으며, 당해 발명은 협약서의 범주내에서 수행된 활동의 결과로서 완성되었다.
- [0007] 기술분야
- [0008] 본 원은 일반적으로 전기 활성 소자, 광학 활성 소자, 태양 소자 및 반도체 소자, 특히 전극에 인접하는 하나 이상의 버퍼층을 포함하는 유기 광전자 소자에 관한 것이다. 본원에는 또한 이것의 제조 방법도 개시된다.

배경 기술

- [0009] 광전자 소자는 전자기 방사선을 전자적으로 생성 또는 검출하거나 또는 주위 전자기 방사선으로부터 전기를 발생시키는 물질의 광학적 특성 및 전자적 특성에 의존한다.
- [0010] 감광 광전자 소자는 전자기 방사선을 전기로 변환시킨다. 광전변환(PV) 소자로도 불리는 태양 전지는 특별히 전력을 발생시키기 위해 사용되는 감광 광전자 소자의 한 유형이다. 태양광 이외의 광원으로부터 전기 에너지를 발생시킬 수 있는 PV 소자는 예컨대 조명, 난방을 제공하는 전력 소모 로드를 구동하기 위해 또는 계산기, 라디오, 컴퓨터 또는 원격 모니터링 또는 통신 장비와 같은 전자 회로 또는 소자에 전력을 공급하기 위해 사용될 수 있다. 이들 전력 발생 제품은 또한 특정 제품의 요건과 PV 소자의 전력 출력의 균형을 맞추거나 태양 또는 다른 광원으로부터의 직접 조명을 이용할 수 없을 경우 작동이 계속될 수 있도록 종종 배터리 또는 다른 에너지 저장 소자의 충전을 수반한다. 본원에서 사용될 때 "저항 로드(resistive load)"는 임의의 전력 소모 또는 저장 회로, 소자, 장비 또는 시스템을 의미한다.
- [0011] 다른 유형의 감광 광전자 소자는 광전도체 전지이다. 이러한 기능에서, 신호 검출 회로는 광흡수로 인한 변화를 검출하기 위하여 소자의 저항을 모니터링한다.
- [0012] 다른 유형의 감광 광전자 소자는 광검출기이다. 작동시, 광검출기는 광검출기가 전자기 방사선에 노출될 때 발생하는 전류를 측정하는 전류 검출 회로와 함께 사용되며 인가된 바이어스 전압을 가질 수 있다. 본원에 개시된 바와 같은 검출 회로는 광검출기에 바이어스 전압을 제공할 수 있고 전자기 방사선에 대한 광검출기의 전자적 반응을 측정할 수 있다.
- [0013] 이들 세 부류의 감광 광전자 소자는 하기 정의된 바와 같은 정류 접합이 존재하는지 여부에 따라 그리고 소자가 바이어스 또는 바이어스 전압으로서도 공지된 외부 인가 접압으로 작동되는지 여부에 따라 특징지어질 수 있다. 광전도체 전지는 정류 접합을 갖지 않으며 통상 바이어스로 작동된다. PV 소자는 적어도 하나의 정류 접합을 가지며 바이어스 없이 작동된다. 광검출기는 적어도 하나의 정류 접합을 가지며 항상은 아니지만 통상 바이어스 없이 작동된다. 일반적으로, 광전변환 전지는 회로, 소자 또는 장비에 전력을 제공하지만, 검출 회로를 제어하기 위한 신호 또는 전류 또는 검출 회로로부터의 정보의 출력을 제공하지 않는다. 대조적으로, 광검출기 또는 광전도체는 검출 회로를 제어하기 위한 신호 또는 전류 또는 검출 회로로부터의 정보의 출력을 제공하지만 회로, 소자 또는 장비에 전력을 제공하지 않는다.
- [0014] 종래, 감광 광전자 소자는 다수의 무기 반도체, 예컨대 결정질, 다결정질 및 무정질 실리콘, 비소화갈륨, 텔루르화카드뮴 등으로 제조되었었다. 본원에서 "반도체"라는 용어는 전하 캐리어가 열 또는 전자기 여기에 의하여 유도될 때 전기를 전도할 수 있는 물질을 의미한다. "광전도성"이라는 용어는 일반적으로 전자기 방사선 에너지

가 흡수되고 이로써 전기 전하 캐리어의 여기 에너지로 변환되어 캐리어가 물질 중의 전기 전하를 전도, 즉 운반할 수 있는 과정을 의미한다. "광전도체" 및 "광전도성 물질"이라는 용어는 본원에서 전자기 방사선을 흡수하여 전기 전하 캐리어를 발생시키는 특성을 위해 선택되는 반도체 물질을 의미하는 것으로 사용된다.

[0015] PV 소자는 입사하는 태양력을 유용한 전력으로 변환시킬 수 있는 효율에 의해 특징지어질 수 있다. 결정질 또는 무정질 실리콘을 이용하는 소자는 시판 제품 중에서 가장 많고 일부는 23% 이상의 효율을 달성하였다. 그러나, 특히 큰 표면적의 효율적인 결정질계 소자는 현저한 효율 저하 결함 없이 큰 결정을 제조하는 데 있어서의 본질적인 문제로 인하여 제조가 어렵고 고가이다. 한편, 고효율 무정질 실리콘 소자는 여전히 안정성 문제가 있다. 현재 시판되는 무정질 실리콘 전지는 4~8%의 안정된 효율을 갖는다. 더 최근에는 경제적인 제조 비용으로 허용 가능한 광전변환 효율을 달성하는 유기 광전변환 전지의 이용에 노력이 집중되어 왔다.

[0016] PV 소자는 광전류와 광전압의 최대 값을 위해 표준 조사 조건(즉, 1000 W/m²인 표준 테스트 조건, AM1.5 스펙트럼 조사)하에서 최대 전력 발생을 위해 최적화될 수 있다. 표준 조사 조건하에서 이러한 전지의 전력 전환 효율은 이하의 세가지 파라미터에 의존한다: (1) 암페어로 제로 바이어스 하에서의 전류, 즉 단락 전류(short-circuit current)(I_{sc}) (2) 볼트로 개방 회로 조건하에서의 광전압, 즉 개방 회로 전압(V_{oc}) 및 (3) 충전율(FF).

[0017] PV 소자는 이들이 로드를 가로질러 연결되고 빛에 의해 조사될 때 광발생 전류를 생성한다. 무한 로드하에 조사될 때, PV 소자는 그 최대 가능 전압, V 개방 회로, 또는 V_{oc}를 발생시킨다. 그 전기 접점이 단락된 상태에서 조사될 때, PV 소자는 그 최대 가능 전류, I 단락 회로, 또는 I_{sc}를 발생시킨다. 실제로 전력을 발생시키기 위하여 사용될 때, PV 소자는 유한 저항 로드에서 연결되고 전력 출력은 전류와 전압의 곱, I × V에 의하여 주어진다. PV 소자에 의하여 발생하는 최대 총 전력은 본질적으로 I_{sc} × V_{oc}의 곱을 초과할 수 없다. 로드 값이 최대 전력 추출을 위해 최적화될 때, 전류 및 전압은 각각 I_{max} 및 V_{max}의 값을 가진다.

[0018] PV 소자의 이점은 하기와 같이 정의되는 충전율(FF)이다:

$$FF = \{ I_{max} V_{max} \} / \{ I_{sc} V_{oc} \} \quad (1)$$

[0019] 여기서, FF는 실제 사용에서 I_{sc} 및 V_{oc}가 동시에 얻어지지 않으므로 항상 1 미만이다. 그럼에도 불구하고, FF가 1에 근접함에 따라, 소자는 더 작은 직렬 또는 내부 저항을 가지므로 최적 조건에서 로드에서 더 큰 백분율의 I_{sc} 및 V_{oc}의 곱을 전달한다. P_{inc}가 소자에 입사되는 전력인 경우, 소자의 전력 효율(η_P)은 이하에 의하여 계산될 수 있다:

$$\eta_P = FF * (I_{sc} * V_{oc}) / P_{inc}$$

[0022] 반도체의 실질적인 부피를 차지하는 내부적으로 발생하는 전계를 생성하기 위하여, 통상의 방법은 특히 분자 양자 에너지 상태의 분포와 관련하여 적절히 선택된 전도성을 갖는 두 물질층을 병치하는 것이다. 이들 두 물질의 계면은 광전지 접합(photovoltaic junction)이라 불린다. 종래의 반도체 이론에서, PV 접합을 형성하는 물질은 일반적으로 n형 또는 p형으로서 명명되었다. 여기서 n형은 대부분의 캐리어 유형이 전자임을 의미한다. 이것은 다수의 전자가 비교적 자유 에너지 상태에 있는 물질로서 고찰될 수 있다. p형은 대부분의 캐리어 유형이 정공임을 의미한다. 이러한 물질은 다수의 정공이 비교적 자유 에너지 상태에 있다. 배경의, 즉 광비생성의 다수의 캐리어 농축물의 유형은 주로 결함 또는 불순물에 의한 의도하지 않은 도핑에 따라 달라진다. 불순물의 유형 및 농도는 HOMO-LUMO 겹으로서는 알려진 전도대 최소 에너지 및 가전자대 최대 에너지 사이의 겹 내에서 페르미 에너지 값 또는 준위를 결정한다. 페르미 에너지는 점유 확률이 1/2인 에너지값에 의하여 나타내어지는 분자 양자 에너지 상태의 통계적 점유를 특징짓는다. 전도대 최소(LUMO) 에너지 근처의 페르미 에너지는 전자가 지배적인 캐리어임을 나타낸다. 가전자대 최대(HOMO) 에너지 근처의 페르미 에너지는 정공이 지배적인 캐리어임을 나타낸다. 따라서, 페르미 에너지는 종래의 반도체의 일차적인 특징적 특성이고 원형(prototypical) PV 접합은 전형적으로 p-n 계면이었다.

[0023] "정류"라는 용어는 특히 계면이 비대칭 전도 특성을 가짐을, 즉, 계면이 바람직하게는 한 방향으로 전자 전하 운반을 지원함을 의미한다. 정류는 통상적으로 접합에서 적절히 선택된 물질 사이에서 일어나는 내부 전계와 관련이 있다.

[0024] 유기 헤테로접합의 전류-전압 특징은 흔히 무기 다이오드에 대하여 유도된 일반화된 쇼클리(Shockley) 방정식을

이용하여 모델링된다. 그러나, 쇼클리 방정식은 엄밀히 유기 반도체 공여체-수용체(D-A) 헤테로접합(HJ)에 적용되지 않으므로, 추출된 파라미터는 명확한 물리적 의미를 갖지 않는다.

[0025] 유기 반도체에서 유의적인 특성은 캐리어 이동도이다. 이동도는 전계에 대한 반응으로 전도성 물질을 통해 전자 캐리어가 이동할 수 있는 용이성을 측정한다. 유기 감광 소자의 상황에서, 높은 전자 이동도로 인해 우선적으로 전자에 의하여 전도되는 물질을 포함하는 층은 전자 전달층 또는 ETL이라 일컬어질 수 있다. 높은 정공 이동도로 인해 우선적으로 정공에 의하여 전도되는 물질을 포함하는 층은 정공 전달층 또는 HTL이라 일컬어질 수 있다. 일부 경우, 수용체 물질은 ETL일 수 있고 공여체 물질은 HTL일 수 있다.

[0026] 종래의 무기 반도체 PV 전지는 내부 전계를 설정하는 p-n 접합을 이용할 수 있다. 그러나, p-n형 접합의 설정에 더하여 헤테로접합의 에너지 준위 오프셋도 중요한 역할을 할 수 있는 것으로 인식되었다.

[0027] 유기 공여체-수용체(D-A) 헤테로접합에서 에너지 준위 오프셋은 유기 물질에서의 광발생 과정의 기본적인 성질로 인하여 유기 PV 소자의 작동에 중요한 것으로 생각된다. 유기 물질의 광학적 여기시, 편재된 프렌켈(Frenkel) 또는 전하 전달 엑시톤이 발생된다. 전기 검출 또는 전류 발생이 일어나기 위하여, 결합된 엑시톤은 그 구성 전자 및 정공으로 분리되어야 한다. 이러한 과정은 내부 전계에 의하여 유도될 수 있으나, 유기 소자에서 일반적으로 발견되는 전계에서의 효율은 낮다($F \sim 10^6$ V/cm). 유기 물질에서 가장 효율적인 엑시톤 분리는 D-A 계면에서 일어난다. 이러한 계면에서, 낮은 이온화 전위를 갖는 공여체 물질은 높은 전자 친화도를 갖는 수용체 물질과 헤테로접합을 형성한다. 공여체 및 수용체 물질의 에너지 준위의 배열에 따라, 이러한 계면에서 엑시톤의 분리가 에너지 면에서 유리하게 될 수 있어, 수용체 물질에서 자유 전자 폴라론 및 공여체 물질에서 자유 정공 폴라론을 유도한다.

[0028] 유기 PV 전지는 종래의 실리콘계 소자에 비하여 많은 잠재적 이점을 갖는다. 유기 PV 전지는 경량이고, 재료 사용이 경제적이고, 가요성 플라스틱 호일과 같은 저가 기판에 침착될 수 있다. 캐리어 발생은 엑시톤 생성, 확산 및 이온화 또는 수집을 필요로 한다. 이들 과정 각각과 관련된 효율(η)이 존재한다. 하첨자는 다음과 같이 사용될 수 있다: 전력 효율에 대하여 P, 외부 양자 효율에 대하여 EXT, 광자 흡수에 대하여 A, 확산에 대하여 ED, 수집에 대하여 CC, 내부 양자 효율에 대하여 INT. 이 기호를 사용하여:

$$\eta_P \sim \eta_{EXT} = \eta_A * \eta_{ED} * \eta_{CC}$$

[0029] $\eta_{EXT} = \eta_A * \eta_{INT}$

[0030] 엑시톤의 확산 길이(L_D)는 광학 흡수 길이(~ 500 Å)보다 일반적으로 훨씬 작아($L_D \sim 50$ Å), 복수회 또는 고도로 접힌 계면을 갖는 두꺼운 저항 전지 또는 광학 흡수 효율이 낮은 얇은 전지를 이용하는 것 사이에 균형 유지가 필요하다.

[0031] 광전변환 소자에서 일반적으로, 개방 회로 전압(V_{OC})에 대한 제한 요인 중 하나는 애노드 및 캐소드 사이의 일함수(Φ) 차이이다. 예컨대, 많은 소자는 ITO($\Phi_{ITO} = 5.3$ eV) 및 Ag($\Phi_{Ag} = 4.2$ eV)를 사용하며, 이것은 1.1 V 정도로 높은 V_{OC} 를 허용한다. Tao 등은 MoO_3 를 애노드 버퍼층으로서 사용할 경우, Ag를 캐소드로서 사용할지라도, Au($\Phi_{Au} = 5.2$ eV)와 거의 동일한 기능을 하는 Ag를 애노드로서 사용하여 애노드 일함수의 선택이 V_{OC} 에 영향을 주지 않음을 발견하였다(Appl. Phys. Lett. 93, 193307 (2008)). 그러나, Tao 등의 소자에서, 버퍼층의 선택은 인접하는 정공 운반 물질과의 유리한 에너지 준위 정렬을 나타내는 것에 한정되어 있다. 따라서, 소자의 특정 용도에 적합한 전극/버퍼층의 선택에 있어 융통성을 증가시킬 수 있는 새로운 소자 구성을 개발할 필요가 있다.

발명의 내용

[0032] 애노드 및 캐소드를 포함하고 서로 중첩되어 있는 2 개의 전극, 상기 2 개의 전극 사이에 위치하여 공여체-수용체 헤테로접합을 형성하는 하나 이상의 공여체 물질 및 하나 이상의 수용체 물질, 애노드에 인접하는 애노드 버퍼층 및 캐소드에 인접하는 캐소드 버퍼층, 및 애노드 버퍼층 및 캐소드 버퍼층 중 적어도 하나에 인접하는 중간층을 포함하는 유기 광전자 소자가 개시되며, 중간층이 애노드 버퍼층에 인접할 경우, 중간층은 애노드 버퍼층으로의 정공의 전달을 촉진하도록 선택되고, 중간층이 캐소드 버퍼층에 인접할 경우, 중간층은 캐소드 버퍼층으로의 전자의 전달을 촉진하도록 선택된다.

[0033] 본 발명의 일부 실시양태에서, 애노드 버퍼층 및 캐소드 버퍼층은 전이 금속 산화물 및 전도성 중합체에서 독립적으로 선택된다. 어떤 실시양태에서는, 애노드 버퍼층 및 캐소드 버퍼층은 전이 금속 산화물에서 독립적으로

선택된다. 어떤 실시양태에서는, 전이 금속 산화물은 MoO_3 , V_2O_5 , WO_3 , CrO_3 , Co_3O_4 , NiO , ZnO , 및 TiO_2 이다. 어떤 실시양태에서는, 전도성 중합체는 폴리아닐린(PANI) 및 폴리(3,4-에틸렌디옥시티오펜) 폴리(스티렌술포네이트)(PEDOT-PSS)이다.

- [0034] 일부 실시양태에서, 애노드 버퍼층 및 캐소드 버퍼층은 동일한 물질을 포함한다. 어떤 실시양태에서는, 애노드 버퍼층 및 캐소드 버퍼층은 동일한 전이 금속 산화물을 포함한다. 어떤 실시양태에서는, 동일한 전이 금속 산화물은 MoO_3 이다.
- [0035] 일부 실시양태에서, 중간층은 금속에서 선택된다. 어떤 실시양태에서는, 금속은 Ni, Ag, Au, Al, Mg, Pt, Pd, Cu, Ca, Ti, 및 In이다.
- [0036] 일부 실시양태에서, 중간층은 금속 나노입자, 나노클러스터 또는 나노로드를 포함한다.
- [0037] 일부 실시양태에서, 중간층은 두께가 5 nm 이하이다.
- [0038] 일부 실시양태에서, 중간층은 두께가 1 nm 이하이다.
- [0039] 일부 실시양태에서, 중간층은 전이 금속 산화물 및 금속에서 선택된다. 어떤 실시양태에서는, 중간층은 전이 금속 산화물에서 선택된다. 어떤 실시양태에서는, 전이 금속 산화물은 MoO_3 , V_2O_5 , WO_3 , CrO_3 , Co_3O_4 , NiO , ZnO , 및 TiO_2 이다.
- [0040] 일부 실시양태에서, 중간층은 애노드 버퍼층에 인접하고, 소자는 캐소드 버퍼층에 인접하는 제2 중간층을 추가로 포함하며, 제2 중간층은 캐소드 버퍼층으로의 전자의 전달을 촉진하도록 선택된다.
- [0041] 또한, 애노드 및 캐소드를 포함하고 서로 중첩되어 있는 2 개의 전극, 상기 2 개의 전극 사이에 위치하여 공여체-수용체 헤테로접합을 형성하는 하나 이상의 공여체 물질 및 하나 이상의 수용체 물질, 애노드에 인접하는 애노드 버퍼층 및 캐소드에 인접하는 캐소드 버퍼층에서 선택되는 하나 이상의 버퍼층, 및 상기 하나 이상의 버퍼층에 인접하는 중간층을 포함하는 유기 광전자 소자가 제공되며, 여기에서 중간층이 애노드 버퍼층에 인접할 경우, 중간층은 애노드 버퍼층으로의 정공의 전달을 촉진하도록 선택되고, 중간층이 캐소드 버퍼층에 인접할 경우, 중간층은 캐소드 버퍼층으로의 전자의 전달을 촉진하도록 선택된다.
- [0042] 일부 실시양태에서, 소자는 애노드 및 공여체 물질 및 캐소드 및 수용체 물질 중 적어도 하나 사이에 위치하는 엑시톤 차단층을 추가로 포함한다. 어떤 실시양태에서는, 엑시톤 차단층은 BCP, BPhen, NTCDA, PTCBI, TPBi, $\text{Ru}(\text{acac})_3$, 및 Alq_2 OPH에서 선택되는 물질을 포함한다.
- [0043] 일부 실시양태에서, 2 개의 전극은 금속, 금속 대체물, 전도성 산화물, 전도성 중합체, 그래핀, 및 탄소 나노튜브에서 선택되는 물질을 포함한다. 일부 실시양태에서, 2 개의 전극 중 적어도 하나는 투명하다. 일 실시양태에서, 적어도 하나의 투명 전극은 투명하게 되기에 충분한 두께를 갖는 투명한 전도성 산화물 및 금속 또는 금속 대체물에서 선택된다. 어떤 실시양태에서는, 투명 전극에 대항하는 전극은 반사성이다. 일 실시양태에서, 반사 전극은 반사성이 되기에 충분한 두께를 갖는 강철, Ni, Ag, Au, Al, Mg, Pt, Pd, Cu, Ca, Ti, 및 In과 같은 금속을 포함한다. 어떤 실시양태에서는, 투명 전극에 대항하는 전극은 적어도 반투명이다. 일 실시양태에서, 상기 적어도 반투명 전극은 적어도 반투명이 되기에 충분한 두께를 갖는 전도성 산화물 및 금속 또는 금속 대체물에서 선택된다. 전도성 산화물인 물질의 예는 인듐 주석 산화물(ITO), 인듐 아연 산화물(IZO), 갈륨 아연 산화물(GZO), 및 인듐 갈륨 아연 산화물(IGZO)이다.
- [0044] 일부 실시양태에서, 2 개의 전극은 적어도 반투명이다.
- [0045] 일부 실시양태에서, 2 개의 전극은 반사성이다.
- [0046] 일부 실시양태에서, 애노드는 투명하고 캐소드는 반사성이다. 일부 실시양태에서, 캐소드는 투명하고 애노드는 반사성이다.
- [0047] 어떤 실시양태에서는, 애노드는 전도성 산화물에서 선택된다. 어떤 실시양태에서는, 캐소드는 금속에서 선택된다. 일 실시양태에서, 애노드는 전도성 산화물에서 선택되고 캐소드는 금속에서 선택된다. 어떤 실시양태에서는, 애노드는 ITO, 갈륨 인듐 주석 산화물(GITO) 및 아연 인듐 주석 산화물(ZITO)에서 선택되고, 캐소드는 Ni, Ag, Al, Mg, 및 In 및 이들의 혼합물 또는 합금에서 선택된다.
- [0048] 일부 실시양태에서, 하나 이상의 공여체 물질은 붕소 서브프탈로시아닌(SubPc), 구리 프탈로시아닌(CuPc), 클로

로알루미늄 프탈로시아닌(CuAlPc), 주석 프탈로시아닌(SnPc), 아연 프탈로시아닌(ZnPc) 및 다른 변성 프탈로시아닌과 같은 프탈로시아닌, 나프탈로시아닌, 메로시아닌 염료, 붕소-디피로메텐(BODIPY) 염료, 폴리(3-헥실티오펜)(P3HT)과 같은 티오펜, 펜타센, 테트라센, 디인덴오펜(DIP), 및 스쿠아레인(SQ) 염료에서 선택되는 물질을 포함한다. 어떤 실시양태에서, 하나 이상의 공여체 물질은 2,4-비스[4-(N,N-디페닐아미노)-2,6-디히드록시페닐]스쿠아레인(DPSQ)을 포함한다.

[0049] 일부 실시양태에서, 하나 이상의 수용체 물질은 풀러렌(예컨대, C_{60} , C_{70} , C_{84}) 및 작용화된 풀러렌 유도체(예컨대, PCBM, ICBA, ICMA 등), 3,4,9,10-페릴렌테트라카르복실릭비스-벤즈이미다졸(PTCBI), 페닐-C61-부티르산-메틸 에스테르([60]PCBM), 페닐-C71-부티르산-메틸 에스테르([70]PCBM), 티에닐-C61-부티르산-메틸 에스테르([60]ThCBM) 및 헥사테카플루오로프탈로시아닌($F_{16}CuPc$)에서 선택되는 물질을 포함한다. 어떤 실시양태에서는, 하나 이상의 수용체 물질은 C_{70} 을 포함한다.

[0050] 어떤 실시양태에서는, 하나 이상의 공여체 물질은 DPSQ와 같은 SQ를 포함하고, 하나 이상의 수용체 물질은 C_{70} 과 같은 풀러렌을 포함한다.

[0051] 일부 실시양태에서, 소자는 태양 전지와 같은 광전변환 소자이다.

[0052] 다른 실시양태에서, 소자는 광검출기이다.

[0053] 다른 실시양태에서, 소자는 광전도체이다.

[0054] 또한, 애노드 또는 캐소드를 포함하는 제1 전극 상에 제1 버퍼층을 침착시키는 단계, 제1 버퍼층 위에 하나 이상의 공여체 물질 및 하나 이상의 수용체 물질을 침착시키는 단계, 공여체 및 수용체 물질 위에 제2 버퍼층을 침착시키는 단계, 및 제2 버퍼층 상에 제2 전극을 침착시키는 단계를 포함하는 유기 광전자 소자의 제조 방법이 개시되며, 여기서 제2 전극은 제1 전극이 애노드일 경우 캐소드이고 또는 제1 전극이 캐소드일 경우 애노드이며; 중간층은 제1 및 제2 버퍼층 중 적어도 하나에 인접하여 침착되고; 중간층은 인접하는 버퍼층으로 정공 및 전자 중 하나의 전달을 촉진하도록 선택된다.

[0055] 본 발명의 일부 실시양태에서, 제1 및 제2 버퍼층은 전이 금속 산화물 및 전도성 중합체에서 독립적으로 선택된다. 어떤 실시양태에서는, 제1 및 제2 버퍼층은 전이 금속 산화물에서 독립적으로 선택된다. 어떤 실시양태에서는, 전이 금속 산화물은 MoO_3 , V_2O_5 , WO_3 , CrO_3 , Co_3O_4 , NiO , ZnO , 및 TiO_2 이다. 어떤 실시양태에서는, 전도성 중합체는 폴리아닐린(PANI) 및 폴리(3,4-에틸렌디옥시티오펜) 폴리(스티렌술포네이트)(PEDOT-PSS)이다.

[0056] 일부 실시양태에서, 중간층은 금속에서 선택된다. 어떤 실시양태에서는, 금속은 Ni, Ag, Au, Al, Mg, Pt, Pd, Cu, Ca, Ti, 및 In이다.

[0057] 일부 실시양태에서, 중간층은 전이 금속 산화물에서 선택된다. 어떤 실시양태에서는, 전이 금속 산화물은 MoO_3 , V_2O_5 , WO_3 , CrO_3 , Co_3O_4 , NiO , ZnO , 및 TiO_2 이다.

[0058] 일부 실시양태에서, 중간층은 제1 버퍼층에 인접하여 침착되고, 상기 방법은 제2 버퍼층에 인접하여 제2 중간층을 침착시키는 단계를 추가로 포함하며, 제2 중간층은 인접하는 제2 버퍼층으로 정공 및 전자 중 하나의 전달을 촉진하도록 선택된다.

[0059] 다른 개시된 광전자 소자의 제조 방법에서, 상기 방법은 애노드 또는 캐소드를 포함하는 제1 전극 위에 하나 이상의 공여체 물질 및 하나 이상의 수용체 물질을 침착시키는 단계 및 공여체 및 수용체 물질 위에 제2 전극을 침착시키는 단계를 포함하며, 여기서 제2 전극은 제1 전극이 애노드일 경우 캐소드이고 또는 제1 전극이 캐소드일 경우 애노드이며; 하나 이상의 버퍼층은 애노드 및 캐소드 중 적어도 하나에 인접하여 침착되고; 중간층은 하나 이상의 버퍼층에 인접하여 침착되고 인접하는 버퍼층으로 정공 및 전자 중 하나의 전달을 촉진하도록 선택된다.

도면의 간단한 설명

[0060] 도 1은 (a) 2 개의 버퍼층 및 하나의 중간층, (b) 2 개의 버퍼층 및 2 개의 중간층, 및 (c) 하나의 버퍼층 및 하나의 중간층을 갖는 본 발명에 따른 광전자 소자 실시예를 개략적으로 도시한 것이다.

도 2는 본 발명에 따른 소자의 비제한적인 특정 실시예를 도시한 것이다.

도 3(a)는 1 sun 시뮬레이션된 조명하에서 여러가지 전극을 갖는 소자의 J-V 특성의 선형 플롯을 나타낸 것이고, 도 3(b)는 암실에서 동일한 소자의 세미로그 플롯을 나타낸 것이다.

도 4는 여러가지 전극을 갖는 소자에 대한 외부 양자 효율(EQE)을 나타낸 것이다.

도 5는 전극을 달리한 소자에 대한 V_{oc} 대 J_{sc} 플롯을 나타낸 것이다.

도 6은 중간층(Ag) 및 캐소드 버퍼층(MoO_3)의 에너지 준위 정렬을 나타내는 평형 에너지 준위 다이어그램을 도시한 것이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0061] 본원에서 사용 및 설명될 때, "층"은 1 차원이 X-Y, 즉 그 길이와 폭을 따른 것인 감광 소자의 부재 또는 부품을 의미한다. 층이라는 용어는 반드시 물질의 단일 층 또는 시트로 한정되는 것은 아니다. 또한, 특정 층과 다른 물질(들) 또는 층(들)의 계면(들)을 포함하는 특정 층의 표면은 불완전할 수 있어 상기 표면은 다른 물질(들) 또는 층(들)과 상호침투적, 얽힌 또는 포선형 네트워크를 나타낸다는 것이 이해되어야 한다. 마찬가지로, X-Y 차원을 따른 상기 층의 연속성이 다른 층(들) 또는 물질(들)에 의하여 교란되거나 개재될 수 있도록 층이 불연속될 수 있음을 이해하여야 한다.

[0062] 본원에서 사용될 때, 물질 또는 부품이 다른 물질 또는 부품 "위에" 침착된다는 표현은 침착되는 물질 또는 부품 및 이것이 "위에" 침착되는 물질 또는 부품 사이에 다른 물질 또는 층이 존재하는 것을 허용한다. 예컨대, 버퍼층과 공여체 및 수용체 물질 사이에 여러가지 물질 또는 층이 존재할지라도, 버퍼층은 공여체 및 수용체 물질 "위에" 침착되는 것으로 개시될 수 있다.

[0063] 본원에서 사용될 때, 전극은 해당 파장에서 주위 전자기 방사선의 50% 이상을 투과시킬 수 있을 때 "투명"이라고 한다. 전극은 해당 파장에서 주위 전자기 방사선의 일부이지만 50% 미만을 투과시킬 수 있을 때 "반투명"이라고 한다.

[0064] 본원에서 사용될 때, "금속"이라는 용어는 예컨대 Mg와 같이 하나의 원소적으로 순수한 금속으로 이루어지는 물질 및 예컨대 Mg 및 Ag(Mg:Ag로 표기)와 같이 2 이상의 원소적으로 순수한 금속으로 이루어지는 물질인 금속 합금 둘다를 포함한다. 여기서, "금속 대체물"이라는 용어는 통상의 정의 내의 금속이 아닌 물질을 의미하지만 특정의 적절한 용도에서 원하는 금속 유사 특성을 가진다.

[0065] 도 1에 도시된 바와 같이, 본 발명의 광전자 소자는 하나 이상의 버퍼층 및 하나 이상의 중간층을 포함할 수 있다. 예컨대, 애노드 및 캐소드를 포함하고 서로 중첩되어 있는 2 개의 전극, 상기 2 개의 전극 사이에 위치하여 공여체-수용체 헤테로접합을 형성하는 하나 이상의 공여체 물질 및 하나 이상의 수용체 물질, 애노드에 인접하는 애노드 버퍼층 및 캐소드에 인접하는 캐소드 버퍼층에서 선택되는 하나 이상의 버퍼층, 및 하나 이상의 버퍼층에 인접하는 중간층을 포함하는 유기 광전자 소자가 개시되며, 여기서 중간층이 애노드 버퍼층에 인접할 경우, 중간층은 애노드 버퍼층으로의 정공의 전달을 촉진하도록 선택되고, 중간층이 캐소드 버퍼층에 인접할 경우, 중간층은 캐소드 버퍼층으로의 전자의 전달을 촉진하도록 선택된다.

[0066] 또한, 애노드 및 캐소드를 포함하고 서로 중첩되어 있는 2 개의 전극, 상기 2 개의 전극 사이에 위치하여 공여체-수용체 헤테로접합을 형성하는 하나 이상의 공여체 물질 및 하나 이상의 수용체 물질, 애노드에 인접하는 애노드 버퍼층 및 캐소드에 인접하는 캐소드 버퍼층, 및 애노드 버퍼층 및 캐소드 버퍼층 중 적어도 하나에 인접하는 중간층을 포함하는 유기 광전자 소자가 개시되며, 여기서 중간층이 애노드 버퍼층에 인접할 경우, 중간층은 애노드 버퍼층으로의 정공의 전달을 촉진하도록 선택되고, 중간층이 캐소드 버퍼층에 인접할 경우, 중간층은 캐소드 버퍼층으로의 전자의 전달을 촉진하도록 선택된다.

[0067] 본 발명에 따르면, 각각 애노드 및 캐소드에 인접하는 전이 금속 산화물 버퍼층과 같은 애노드 버퍼층 및 캐소드 버퍼층을 이용함으로써, 일함수/에너지 준위에 관하여 애노드 및 캐소드의 선택은 임의적이다. 또한, 본 발명자들은 애노드 버퍼층 및 캐소드 버퍼층 중 적어도 하나에 인접하는 개시된 중간층을 삽입함으로써, 일함수에 관하여 인접하는 버퍼층의 선택도 임의적이라는 것을 발견하였다.

[0068] 본 발명에 따르면, 중간층은, 애노드 버퍼층에 인접하는 경우 애노드 버퍼층으로의 정공의 전달을 촉진하도록 선택되고, 캐소드 버퍼층에 인접할 경우 캐소드 버퍼층으로의 전자의 전달을 촉진하도록 선택된다. 본 발명에 따르면, 중간층은 인접하는 유기 물질과 각각의 버퍼층의 에너지 전달 준위를 할당함으로써 각각의 전하 운반을 촉진할 수 있다. 인접하는 유기 물질은 공여체 또는 수용체 물질, 전자 또는 정공 운반 물질, 또는 엑시톤

차단, 전자 또는 정공 전달 물질일 수 있다.

- [0069] 중간층의 배열 효과의 비제한적인 예로서, 도 6은 중간층 Ag 및 캐소드 버퍼층 MoO₃의 에너지 준위 배열을 나타내는 평형 에너지 준위 다이어그램을 도시한다. 상부 라인은 진공 레벨 시프트로서, 이것은 두 물질(예컨대, Ag 및 MoO₃)에서의 에너지 준위가 시프트되어 정렬될 때의 시프트를 나타낸다.
- [0070] 일부 실시양태에서, 중간층은 일함수가 인접하는 유기 물질의 최고준위 점유 분자궤도(HOMO)와 일직선이 되도록 선택되어 애노드 버퍼층으로의 정공의 운반을 촉진한다. 일부 실시양태에서, 중간층은 일함수가 인접하는 유기 물질의 최저준위 비점유 분자궤도(LUMO)와 일직선이 되도록 선택되어 캐소드 버퍼층으로의 전자의 운반을 촉진한다.
- [0071] 따라서, 본 발명에 따르면, 애노드 버퍼층 및 캐소드 버퍼층 중 적어도 하나에 인접하는 중간층을 이용함으로써, 중간층에 인접하는 전극 및 버퍼층의 선택은 일함수/에너지 준위에 관하여 임의적이다. 예컨대, 본 발명자들은 중간층은 인접하는 유기 물질과 캐소드 버퍼층의 에너지 전달 준위를 정렬하므로 애노드 버퍼층으로서 일반적으로 사용되는 MoO₃가 본 발명의 중간층과 함께 사용될 때 캐소드 버퍼층으로서도 사용될 수 있음을 발견하였다. 또한, Ag/MoO₃ 또는 ITO/MoO₃로 이루어지는 대칭 전극을 갖는 중간층을 이용하는 유기 PV는 전형적인 ITO/MoO₃ 애노드 및 Ag 캐소드를 갖는 소자에 필적하는 기능을 하였다.
- [0072] 이들 발견은 임의의 일함수/에너지 준위를 갖는 전극/버퍼 물질을 선택할 수 있는 유기 광전자 소자에 대한 새로운 융통성 있는 설계 기준을 제안한다. 따라서, 본 발명에 따르면, 소자는 일반 배향이든 역 배향이든 소자의 특정 용도에 적절한 전극/버퍼 조합을 갖도록 제작될 수 있다. 즉, 소자의 특정 용도에 기초하여 소자의 성능을 최적화하기 위하여 적합한 애노드 및 캐소드 조합을 투명, 반투명, 반사성 등인 전극에서 선택할 수 있다.
- [0073] 본원에 개시된 바와 같은 애노드 버퍼층 및 캐소드 버퍼층은 전이 금속 산화물 및 전도성 중합체에서 독립적으로 선택될 수 있다. 어떤 실시양태에서는, 애노드 버퍼층 및 캐소드 버퍼층은 전이 금속 산화물에서 독립적으로 선택된다. 어떤 실시양태에서는, 전이 금속 산화물은 MoO₃, V₂O₅, WO₃, CrO₃, Co₃O₄, NiO, ZnO, 및 TiO₂이다. 어떤 실시양태에서는, 전도성 중합체는 폴리아닐린(PANI) 및 폴리(3,4-에틸렌디옥시티오펜) 폴리(스티렌술포네이트)(PEDOT-PSS)이다.
- [0074] 일부 실시양태에서, 중간층은 금속에서 선택된다. 어떤 실시양태에서는, 금속은 Ni, Ag, Au, Al, Mg, Pt, Pd, Cu, Ca, Ti, 및 In이다.
- [0075] 일부 실시양태에서, 중간층은 금속 나노입자, 나노클러스터 또는 나노로드를 포함한다.
- [0076] 어떤 실시양태에서는, 중간층의 두께는 15 nm 이하, 10 nm 이하, 또는 5 nm 이하이다. 일부 실시양태에서, 중간층의 평균 두께는 1 nm 이하이다.
- [0077] 일부 실시양태에서, 중간층은 애노드 버퍼층에 인접하고, 소자는 캐소드 버퍼층에 인접하는 제2 중간층을 추가로 포함하며, 제2 중간층은 캐소드 버퍼층에 전자의 전달을 촉진하도록 선택된다.
- [0078] 일부 실시양태에서, 제2 중간층은 금속에서 선택된다. 어떤 실시양태에서는, 금속은 Ni, Ag, Au, Al, Mg, Pt, Pd, Cu, Ca, Ti, 및 In이다.
- [0079] 일부 실시양태에서, 제2 중간층은 금속 나노입자, 나노클러스터 또는 나노로드를 포함한다.
- [0080] 어떤 실시양태에서는, 제2 중간층의 두께는 15 nm 이하, 10 nm 이하, 또는 5 nm 이하이다. 어떤 실시양태에서는, 제2 중간층의 평균 두께는 1 nm 이하이다.
- [0081] 금속으로부터 선택되는 것에 더하여, 중간층은 전이 금속 산화물에서 선택될 수 있다. 버퍼층이 전이 금속 산화물에서 선택되는 경우, 인접하는 중간층은 동일한 전이 금속 산화물이어서는 안된다.
- [0082] 본원에 개시된 바와 같은 전이 금속 산화물의 비제한적인 예는 MoO₃, V₂O₅, WO₃, CrO₃, Co₃O₄, NiO, ZnO, 및 TiO₂이다.
- [0083] 일부 실시양태에서, 애노드 버퍼층 및 캐소드 버퍼층은 동일한 물질을 포함한다. 어떤 실시양태에서는, 애노드 버퍼층 및 캐소드 버퍼층은 동일한 전이 금속 산화물을 포함한다. 어떤 실시양태에서는, 동일한 전이 금속 산화물은 MoO₃이다.

- [0084] 일부 실시양태에서, 2 개의 전극은 금속, 금속 대체물, 전도성 산화물, 전도성 중합체, 그래핀, 탄소 나노튜브에서 선택되는 물질을 포함한다. 일부 실시양태에서, 2 개의 전극 중 적어도 하나는 인듐 주석 산화물(ITO), 주석 산화물(TO), 갈륨 인듐 주석 산화물(GITO), 아연 산화물(ZnO) 및 아연 인듐 주석 산화물(ZITO)과 같은 전도성 산화물, 또는 폴리아닐린(PANI) 또는 폴리(3,4-에틸렌디옥시티오펜) 폴리(스티렌술포네이트)(PEDOT-PSS)와 같은 전도성 중합체를 포함한다. 일부 실시양태에서, 2 개의 전극 중 적어도 하나는 Ag, Au, Ti, Sn, 및 Al과 같은 금속을 포함한다. 일부 실시양태에서, 애노드는 전도성 산화물을 포함한다. 일부 실시양태에서, 애노드는 ITO를 포함한다. 일부 실시양태에서, 캐소드는 금속을 포함한다. 일부 실시양태에서, 캐소드는 Ag, Au, Ti, Sn, 및 Al에서 선택되는 금속을 포함한다.
- [0085] 본원에 개시된 유기 광전자 소자는 원하는 구조적 특성을 제공하는 임의의 기관 상에서 성장되거나 배치될 수 있다. 따라서, 일부 실시양태에서, 소자는 기관을 추가로 포함한다. 예컨대, 기관은 가요성 또는 강성, 평면형 또는 비평면형일 수 있다. 기관은 투명, 반투명 또는 불투명일 수 있다. 기관은 반사성일 수 있다. 플라스틱, 유리, 금속 및 석영은 강성 기관 재료의 예이다. 플라스틱 및 금속 호일 및 박형 유리는 가요성 기관 재료의 예이다. 기관의 재료 및 두께는 원하는 구조적 및 광학적 특성을 얻도록 선택될 수 있다. 일부 실시양태에서, 기관은 스테인레스 스틸 호일(SUS)과 같은 스테인레스 스틸이다. SUS 기관은 종래의 재료에 비하여 비교적 비용이 저렴하며 층 성장 동안 더 양호한 방열(heat sink)을 제공한다.
- [0086] 본 명세서에 따르면, 유기 PV와 같은 광전자 소자는 종래 구조 또는 역 구조를 가질 수 있다. 역 구조 소자의 예는 미국 특허 공보 2010/0102304호에 개시되어 있으며, 이것은 역 구조 소자의 개시내용 때문에 본원에 참고로 포함된다.
- [0087] 본 발명에 사용될 수 있는 공여체 물질과 관련하여, 붕소 서브프탈로시아닌(SubPc), 구리 프탈로시아닌(CuPc), 클로로알루미늄 프탈로시아닌(CuAlPc), 주석 프탈로시아닌(SnPc), 아연 프탈로시아닌(ZnPc) 및 다른 변성 프탈로시아닌과 같은 프탈로시아닌, 나프탈로시아닌, 메로시아닌 염료, 붕소-디피로메텐(BODIPY) 염료, 폴리(3-헥실티오펜)(P3HT)과 같은 티오펜, 펜타센, 테트라센, 디인테노페릴렌(DIP), 및 스쿠아레인(SQ) 염료에서 선택되는 것이 비제한적으로 언급된다.
- [0088] 사용될 수 있는 스쿠아레인 공여체 물질의 비제한적인 실시양태는 2,4-비스 [4-(N,N-디프로필아미노)-2,6-디히드록시페닐] 스쿠아레인, 2,4-비스[4-(N,N-디이소부틸아미노)-2,6-디히드록시페닐] 스쿠아레인, 2,4-비스[4-(N,N-디페닐아미노)-2,6-디히드록시페닐] 스쿠아레인 (DPSQ) 및 이의 염에서 선택되는 것이다. 적당한 스쿠아레인 물질의 예는 미국 특허 공보 2012/0248419호에 개시되어 있으며, 이것은 스쿠아레인 물질의 개시내용 때문에 본원에 참고로 포함된다.
- [0089] 일 실시양태에서, 공여체 물질은 펜타센 또는 금속 나노입자를 포함하는 것과 같은 고이동도 물질로 도핑될 수 있다.
- [0090] 본 발명에 사용될 수 있는 수용체 물질의 예는 중합체 또는 비중합체 페릴렌, 중합체 또는 비중합체 나프탈렌, 및 중합체 또는 비중합체 풀러렌을 포함한다. 풀러렌(예컨대, C₆₀, C₇₀, C₈₄) 및 작용화된 풀러렌 유도체(예컨대, PCBM, ICBA, ICMA 등), 3,4,9,10-페릴렌테트라카르복실릭비스-벤즈이미다졸(PTCBI), 페닐-C₆₁-부티르산-메틸 에스테르([60]PCBM), 페닐-C₇₁-부티르산-메틸 에스테르([70]PCBM), 티에닐-C₆₁-부티르산-메틸 에스테르([60]ThCBM) 및 헥사데카플루오로프탈로시아닌(F₁₆CuPc), 3,4,9,10-페릴렌테트라카르복실릭비스-벤즈이미다졸(PTCBI), 페닐-C₆₁-부티르산-메틸 에스테르([60]PCBM), 페닐-C₇₁-부티르산-메틸 에스테르([70]PCBM), 티에닐-C₆₁-부티르산-메틸 에스테르([60]ThCBM) 및 헥사데카플루오로프탈로시아닌(F₁₆CuPc)에서 선택되는 것이 비제한적으로 언급된다.
- [0091] 본 발명의 하나 이상의 공여체 물질 및 하나 이상의 수용체 물질은 하나 이상의 공여체-수용체 헤테로접합을 형성한다. 헤테로접합은 평면형, 벌크형, 혼합형, 하이브리드-평면-혼합형 또는 나노결정 벌크 헤테로접합에 의해 형성될 수 있다.
- [0092] 본 발명에 따른 유기 광전자 소자는 엑시톤 차단층(EBL)과 같은 하나 이상의 차단층을 추가로 포함할 수 있다. 엑시톤 차단층으로서 사용될 수 있는 물질과 관련하여, 바소쿠프로인(BCP), 바소페난트롤린(BPhen), 1,4,5,8-나프탈렌-테트라카르복실산-이무수물(NTCDA), 3,4,9,10-페릴렌테트라카르복실릭비스-벤즈이미다졸(PTCBI), 1,3,5-트리스(N-페닐벤즈이미다졸-2-일)벤젠(TPBi), 트리스(아세틸아세토네이트)루테튬(III)(Ru(acac)₃), 및 알루미늄

(III)페놀레이트(AlQ_2 OPH), N,N'-디페닐-N,N'-비스-알파-나프틸벤지딘(NPD), 알루미늄 트리스(8-히드록시퀴놀린)(AlQ_3), 및 카르바졸 비페닐(CBP)에서 선택되는 것이 비제한적으로 언급된다.

[0093] 일부 실시양태에서, 하나 이상의 차단층은 애노드 및 공여체 물질 및 캐소드 및 수용체 물질 중 하나 또는 둘 사이에 위치한다. 차단층의 예는 미국 특허 공보 2012/0235125호 및 2011/0012091호 그리고 미국 특허 7,230,269호 및 6,451,415호에 개시되어 있으며, 이들 문헌은 차단층의 개시내용 때문에 본원에 참고로 포함된다.

[0094] 본 발명의 유기 광전자 소자는 2 이상의 서브셀을 포함하는 탠덤 소자로서 존재할 수 있다. 본원에서 사용될 때, 서브셀은 하나 이상의 공여체-수용체 헤테로접합을 포함하는 소자의 부품을 의미한다. 서브셀이 감광 광전자 소자로서 개별적으로 사용되는 경우, 이것은 일반적으로 완전한 세트의 전극을 포함한다. 탠덤 소자는 전하 전달 물질, 전극 또는 전하 재조합 물질 또는 탠덤 공여체-수용체 헤테로접합 사이의 터널 접합을 포함할 수 있다. 일부 탠덤 구성에서, 인접하는 서브셀은 공통의 즉 공유된 전극, 전하 전달 영역 또는 전하 재조합 영역을 이용할 수 있다. 다른 경우, 인접하는 서브셀은 공통의 전극 또는 전하 전달 영역을 공유하지 않는다. 서브셀은 전기적으로 병렬 또는 직렬 연결될 수 있다.

[0095] 일부 실시양태에서, 전하 전달층 또는 전하 재조합층은 Al, Ag, Au, MoO_3 , Li, LiF, Sn, Ti, WO_3 , 인듐 주석 산화물(ITO), 주석 산화물(TO), 갈륨 인듐 주석 산화물(GITO), 아연 산화물(ZO) 또는 아연 인듐 주석 산화물(ZITO)에서 선택될 수 있다. 다른 실시양태에서, 전하 전달층 또는 전하 재조합층은 금속 나노클로스터, 나노입자 또는 나노로드를 포함할 수 있다.

[0096] 본 발명의 유기 광전자 소자는 예컨대 태양 전지, 광검출기 또는 광전도체와 같은 PV 소자로서 기능할 수 있다.

[0097] 본원에 개시된 유기 감광 광전자 소자가 PV 소자로서 기능할 경우, 광전도성 유기층에 사용되는 물질 및 이의 두께는 예컨대 소자의 외부 양자 효율을 최적화하도록 선택될 수 있다. 마찬가지로, 애노드 버퍼층 및 캐소드 버퍼층의 두께는 소자의 외부 양자 효율을 최적화하도록 선택될 수 있다. 예컨대, 적절한 두께는 소자에서 원하는 광학적 간격을 달성하고 및/또는 소자에서의 저항을 감소시키도록 선택될 수 있다. 예컨대 중간층의 두께도 저항을 감소시키도록 최적화될 수 있다. 본원에 개시된 유기 감광 광전자 소자가 광검출기 또는 광전도체로서 기능할 때는, 광전도성 유기층에 사용되는 물질 및 이의 두께는 예컨대 원하는 스펙트럼 영역까지 소자의 감도를 최대화하도록 선택될 수 있다.

[0098] 또한, 애노드 또는 캐소드를 포함하는 제1 전극 상에 제1 버퍼층을 침착시키는 단계, 제1 버퍼층 위에 하나 이상의 공여체 물질 및 하나 이상의 수용체 물질을 침착시키는 단계, 공여체 및 수용체 물질 위에 제2 버퍼층을 침착시키는 단계, 및 제2 버퍼층 상에 제2 전극을 침착시키는 단계를 포함하는 유기 광전자 소자의 제조 방법이 개시되며, 여기서 제2 전극은 제1 전극이 애노드일 경우 캐소드이고 또는 제1 전극이 캐소드일 경우 애노드이며; 중간층은 제1 및 제2 버퍼층 중 적어도 하나에 인접하여 침착되고; 중간층은 인접하는 버퍼층에 정공 및 전자 중 하나의 전달을 촉진하도록 선택된다.

[0099] 일부 실시양태에서, 중간층은 제1 버퍼층에 인접하여 침착되고, 상기 방법은 제2 버퍼층에 인접하여 제2 중간층을 침착시키는 단계를 추가로 포함하며, 제2 중간층은 인접하는 제2 버퍼층으로 정공 및 전자 중 하나의 전달을 촉진하도록 선택된다.

[0100] 다른 개시된 광전자 소자의 제조 방법에서, 상기 방법은 애노드 또는 캐소드를 포함하는 제1 전극 위에 하나 이상의 공여체 물질 및 하나 이상의 수용체 물질을 침착시키는 단계 및 공여체 및 수용체 물질 위에 제2 전극을 침착시키는 단계를 포함하며, 여기서 제2 전극은 제1 전극이 애노드일 경우 캐소드이고 또는 제1 전극이 캐소드일 경우 애노드이며; 하나 이상의 버퍼층은 애노드 및 캐소드 중 적어도 하나에 인접하여 침착되고; 중간층은 하나 이상의 버퍼층에 인접하여 침착되고 인접하는 버퍼층으로 정공 및 전자 중 하나의 전달을 촉진하도록 선택된다.

[0101] 본 발명의 광전자 소자를 포함하는 물질은 업계에 공지된 방법을 이용하여 침착될 수 있다.

[0102] 일부 실시양태에서, 예컨대 스핀 코팅, 스핀 캐스팅, 분무 코팅, 딥 코팅, 닥터 블레이딩, 잉크젯 인쇄 또는 전자 인쇄에서 선택되는 하나 이상의 기술에 의하는 것과 같은 용액 공정을 통해 유기 물질 또는 유기 층 또는 유기 박막이 적용될 수 있다. 증발점 또는 승화점보다 낮은 온도에서 분해되는 분자에 대해서는, 용액 공정 기술을 이용하여 전자제품 목적의 균일한 고품질의 박막을 달성할 수 있다.

- [0103] 다른 실시양태에서, 유기 물질은 진공 열증발과 같은 진공 증발, 유기 증기상 침착 또는 유기 증기젯 인쇄를 이용하여 침착시킬 수 있다.
- [0104] 애노드 버퍼층 및 캐소드 버퍼층 및 중간층은 예컨대 진공 열증발과 같은 진공 증발, OVPD와 같은 증기상 침착 기술 또는 이전 및 이후 층에 대하여 직교하는 용매를 이용하는 용액 공정에 의하여 침착시킬 수 있다.
- [0105] 본 발명에 따른 유기 광전자 소자의 예가 도 1에 개략적으로 도시되어 있다. 전극(110)은 애노드 또는 캐소드를 포함한다. 전극(110)이 애노드를 포함할 경우 전극(135)은 캐소드를 포함한다. 전극(110)이 캐소드를 포함할 경우 전극(135)은 애노드를 포함한다. 유기층(120 및 125)은 본원에 개시된 바와 같은 공여체-수용체 헤테로접합을 형성한다. 유기층(120)은 하나 이상의 공여체 물질 또는 하나 이상의 수용체 물질을 포함한다. 유기층(120)이 하나 이상의 수용체 물질을 포함하는 경우 유기층(125)은 하나 이상의 공여체 물질을 포함한다. 유기층(120)이 하나 이상의 공여체 물질을 포함하는 경우 유기층(125)은 하나 이상의 수용체 물질을 포함한다.
- [0106] 일부 실시양태에서, 버퍼층(115 및 130)은 본원에 개시된 바와 같은 전이 금속 산화물 및 전도성 중합체에서 독립적으로 선택될 수 있다. 버퍼층(115)은 전극(110)이 애노드인 경우 애노드 버퍼층이고, 전극(110)이 캐소드인 경우 캐소드 버퍼층이다. 마찬가지로, 버퍼층(130)은 전극(135)이 애노드인 경우 애노드 버퍼층이고, 전극(135)이 캐소드인 경우 캐소드 버퍼층이다. 일부 실시양태에서, 소자 A에서와 같이, 소자는 버퍼층(130)에 인접하는 중간층(140)을 포함한다. 일부 실시양태에서, 소자 B에서와 같이, 소자는 2 개의 중간층을 포함하며, 하나는 버퍼층(130)에 인접하고 하나는 버퍼층(115)에 인접한다.
- [0107] 일부 실시양태에서, 소자 C에서와 같이, 소자는 단 하나의 버퍼층(130) 및 하나의 중간층(140)을 포함한다. 어떤 실시양태에서는, 버퍼층(130)은 전이 금속 산화물 및 전도성 중합체에서 선택될 수 있으며, 전극(135)이 애노드인 경우 애노드 버퍼층이고, 전극(135)이 캐소드인 경우 캐소드 버퍼층이다.
- [0108] 본원에 개시된 바와 같이, 차단층 또는 운반층과 같은 추가의 층이 포함될 수 있다. 예컨대, 도 2는 본 발명의 특별한 비제한적인 실시양태로서 제공된다. 도 2에서, 애노드 버퍼층은 MoO_3 (20 nm)이고 캐소드 버퍼층은 MoO_3 (30 nm)이다. 공여체 물질은 DPSQ이다. 수용체 물질은 C_{70} 이다. PTCBI는 엑시톤 차단층, 전자 운반층으로서 사용되며, 중간층은 Ag 나노입자, 나노클러스터 또는 나노로드를 포함한다. 애노드 및 캐소드를 포함하는 2 개의 전극은 본원에 개시된 바와 같이 선택될 수 있다.
- [0109] 본원에 개시된 실시양태는 매우 다양한 다른 구조와 함께 사용될 수 있음을 이해하여야 한다. 개시된 구체적인 물질 및 구조는 예시이며 다른 물질 및 구조가 사용될 수 있다. 기능적인 유기 광전자 소자는 상이한 방식으로 개시된 다양한 층들을 조합하여 달성될 수 있거나 또는 디자인, 성능 및 비용 요인에 의거하여 층들을 전체적으로 생략할 수 있다. 구체적으로 개시되지 않은 추가의 층들도 포함될 수 있다. 구체적으로 개시된 것 이외의 물질을 사용할 수 있다. 본원에 제공된 실시예는 여러 층들을 단일 물질을 포함하는 것으로서 개시하였으나, 호스트 및 도펀트의 혼합물과 같은 물질의 조합 또는 더 일반적으로 혼합물이 사용될 수 있는 것으로 이해된다. 또한, 층들은 여러 서브층들을 가질 수 있다. 여러 층들에 주어지는 이름은 엄격하게 한정되는 것으로 의도되지 않는다.
- [0110] 실시예 이외에서 또는 달리 언급하지 않는 한, 명세서 및 첨부된 특허청구범위에 사용되는 성분, 반응 조건, 분석 측정 등의 양을 표현하는 모든 수치는 모든 경우 "약"이라는 용어로 수식되는 것으로 이해되어야 한다. 따라서, 달리 언급하지 않는 한, 명세서 및 첨부된 특허청구범위에 개시된 수치 파라미터는 본원에 의해 얻고자 하는 원하는 특성에 따라 달라질 수 있는 근사치이다. 적어도 청구범위의 범위와 등가인 원리의 적용을 제한하려는 시도가 아니라, 각각의 수치 파라미터는 유의적인 숫자의 수 및 통상의 어림법에 비추어 이해되어야 한다.
- [0111] 본원의 광범위를 설정하는 수치 범위 및 파라미터는 근사치이지만, 달리 언급되지 않는 한 구체적인 실시예에 개시된 수치 값은 가능한 한 정확하게 보고되어 있다. 그러나, 임의의 수치 값은 반드시 그 각각의 시험 측정에서 발견되는 표준 편차에서 유래하는 어떤 오차를 본질적으로 포함한다.
- [0112] 본원에 개시된 방법 및 소자를 순수하게 예시적으로만 의도되는 이하의 비제한적인 실시예에 의하여 더 설명한다.
- [0113] **실시예**
- [0114] 각각 애노드 및 캐소드에 인접하는 애노드 버퍼층 및 캐소드 버퍼층을 갖는 유기 PV 소자를 제작하였다. 이하의 구조를 갖는 소자를 제작하였다: 유리/애노드/20 nm MoO_3 /13 nm DPSQ/10 nm C_{70} /5 nm PTCBI/0.1 nm Ag/30 nm

MoO₃/캐소드, 여기서 애노드는 ITO(미리 코팅됨) 또는 20 nm Ag이고, 캐소드는 100 nm Ag, 20 nm Ag, 또는 40 nm sITO로 이루어졌다. 도 2는 소자의 개략을 도시한 것이다. MoO₃는 일반적으로 음전기 최저준위 비점유 분자 궤도(LUMO)를 갖지만, PTCBI 위에 침착된 Ag 나노클러스터층은 PTCBI 및 MoO₃의 페르미 준위를 정렬하는 효과를 갖는다. 그 결과는 PTCBI로부터 MoO₃로 캐소드로의 효율적인 전자 운반을 나타낸다.

[0115]

유리 기판 상에 미리 코팅된 100 nm 두께의 ITO층 또는 유리 상의 20 nm 두께의 Ag층 상에서 소자를 성장시켰다. 침착 전에, ITO 또는 유리 표면을 계면활성제 및 일련의 용매 중에서 세정한 다음 10분 동안 자외선-오존에 노출시킨 후 고진공 챔버(기본압 < 10⁻⁷ Torr)에 로딩하고 여기서 MoO₃를 ~0.1 nm/s로 열 증발시켰다.

[0116]

이후 기판을 N₂ 글로브박스로 옮기고 여기서 DPSQ 필름을 클로로포름 중 여과된 1.6 mg/ml 용액으로부터 스핀 코팅하였다. 기판을 다시 고진공 챔버로 옮겨 정제된 유기물을 0.1 nm/s에서 침착시킨 다음, 글로브박스로 다시 옮겨 10분 동안 포화 클로로포름 증기에 노출시켜 유리한 필름 모폴리지를 생성하였다. 진공 챔버로 다시 옮긴 후, 0.1 nm Ag 은 나노클러스터층 및 MoO₃ 운반층을 침착시켰다.

[0117]

캐소드 재료(Ag 또는 ITO)를 1 mm 직경 개공의 어레이를 갖는 새도우 마스크를 통해 침착시켰다. 스퍼터링된 ITO(sITO)를 0.01 nm/s에서 20 W DC 전력으로 침착시켰다. 전류 밀도 대 전압(J-V) 특성을 초순수 N₂ 분위기에서 암실에서 그리고 필터링된 300 W Xe 램프로부터 시뮬레이션된 AM1.5G 태양 조명하에서 측정하였다. 램프 강도는 뉴트럴 필터(neutral density filter)를 이용하여 변화시켰다. 광학 강도는 NREL-보정 Si 검출기를 이용하여 참조되었고, 스펙트럼 불일치에 대하여 광전류 측정을 수정하였다.

[0118]

1 sun AM1.5G 시뮬레이션된 조명하에서 암실에서의 소자 특성은 각각 도 3(a) 및 3(b)에 도시되어 있고 성능은 다음과 같이 표 1에 요약되어 있다:

[0119]

표 1. 1 sun 조명에서의 소자 성능

애노드	캐소드	J_{sc} (mA/cm ²)	V_{oc} (V)	FF	PCE (%)	R_s (Ωcm ²)
ITO	100 nm Ag	6.0	0.92	0.67	3.7	0.87
20 nm Ag	20 nm Ag	2.8	0.89	0.65	1.6	0.64
20 nm Ag	100 nm Ag	3.7	0.90	0.67	2.2	0.29
ITO	sITO	1.4	0.86	0.52	0.8	14.1

[0120]

[0121]

단락 전류(J_{sc}) 차이는 사용된 전극의 반사율 차이에서 기인할 수 있다. ITO 애노드의 경우, 반사율이 낮아 활성층에 더 많은 빛이 흡수된다. 애노드로서 20 nm Ag를 이용하는 것이 더 반사성이므로 감응도가 감소한다. 캐소드에 대하여, 100 nm Ag를 사용하는 것은 활성층을 통해 빛을 다시 반사시켜 감응도가 증가하는 반면, 20 nm Ag 및 sITO는 투명성이 증가하여 감응도를 낮춘다. 그러나, 이러한 투명성은 반도체 유기 PV를 설계할 때 유리할 수 있다. 이들 감응도 차이는 또한 도 4에 도시된 외부 양자 효율 데이터에서 살펴볼 수 있다. 애노드로서 20 nm Ag 및 캐소드로서 100 nm Ag를 갖는 소자에 대하여, 500 nm에서의 피크는 마이크로캐비티 효과에서 기인할 수 있으며, 이것은 특정 파장을 증대시킬 수 있다.

[0122]

이들 4개의 소자간 V_{oc} 차이는 J_{sc} 차이로 보정될 수 있다. V_{oc} 및 J_{sc} 사이의 관계는 알려져 있다:

[0123]

$$qV_{oc} = \Delta E_{HL} + k_b T \ln(J_{sc}/J_0), \quad (1)$$

[0124]

여기서, q는 전자 전하이고, ΔE_{HL} 은 공여체 최고준위 점유 분자궤도(HOMO)와 공여체 LUMO 사이의 에너지 차이이며, k_b 는 볼츠만 상수이고, T는 온도이며, J_0 는 포화 암전류이다. V_{oc} 및 J_{sc} 의 대수 의존성이 존재하는 것은 방정식 1로부터 알 수 있다. 도 5에서 J_{sc} 의 함수로서 V_{oc} 를 플롯함으로써, 4개의 소자 모두에 대한 데이터가 라인 상에 떨어지는 것이 관찰된다. 이것은 4개의 소자 모두가 유사하게 작동하며, V_{oc} 에서의 차이는 오직 활성층에 의해 흡수되는 빛의 양의 차이로 인한 것임을 나타낸다.

[0125] 다크 J-V 데이터를 이상 다이오드 방정식에 피팅함으로써, 각 소자에 대하여 직렬 저항(R_s)을 추출할 수 있다:

$$J = J_s \left\{ \exp\left(\frac{q(V - IR_s)}{nk_bT}\right) - 1 \right\}. \quad (2)$$

[0126]

[0127] 여기서, J_s 는 역포화전류이고, n 은 이상 계수(ideality factor)이며, T 는 온도이다. 표 1에 도시된 바와 같이, ITO 및 Ag를 갖는 소자는 매우 낮은 R_s , $< 1 \text{ } \Omega\text{cm}^2$ 를 갖는다. sITO를 갖는 소자의 경우, 이것은 훨씬 높아서 $R_s = 14.1 \text{ } \Omega\text{cm}^2$ 이다. 이것은 sITO가 ITO보다 품질이 더 낮아(시트 저항 $\sim 200 \text{ } \Omega/\square$ 대 $15 \text{ } \Omega/\square$), 이 소자에 대하여 R_s 가 증가하고 FF가 감소하기 때문이다.

[0128] 본 원은 구체적인 실시예 및 실시양태에 관하여 개시되어 있으나, 본원에 개시된 소자는 이들 실시예 및 실시양태에 한정되지 않는다. 따라서, 청구된 바와 같은 실시양태는 당업자에게 명백한 바와 같이 본원에 개시된 구체적인 실시예 및 바람직한 실시양태로부터의 변형을 포함할 수 있다.

도면

도면1a

소자 A

135 전극
130 버퍼층
140 중간층
125 공여체/수용체
120 공여체/수용체
115 버퍼층
110 전극

도면1b

소자 B

135 전극
130 버퍼층
140 중간층
125 공여체/수용체
120 공여체/수용체
145 중간층
115 버퍼층
110 전극

도면1c

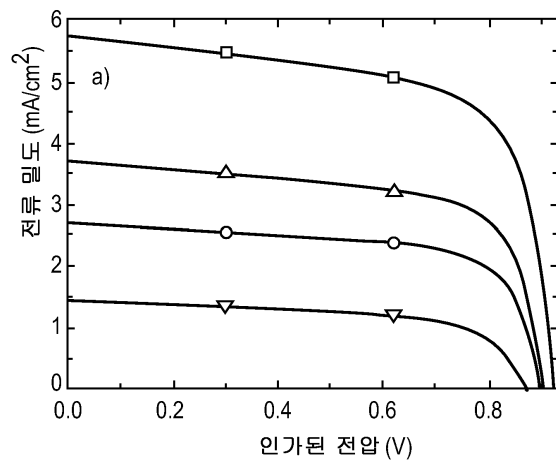
소자 C

135	전극
130	버퍼층
140	중간층
125	공여체/수용체
120	공여체/수용체
110	전극

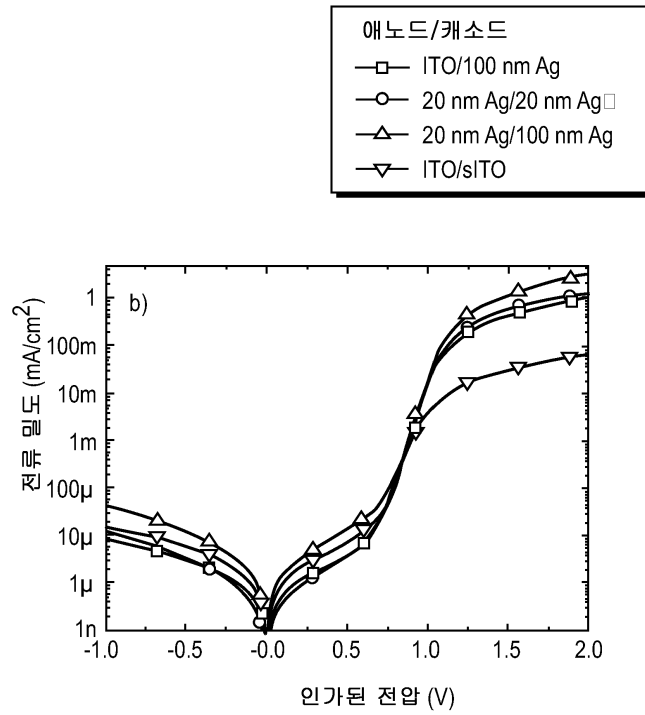
도면2

캐소드
MoO ₃ 30nm
Ag 0.1nm
PTCBI 5nm
C ₇₀ 10nm
13nm DPSQ
MoO ₃ 20nm
애노드
유리

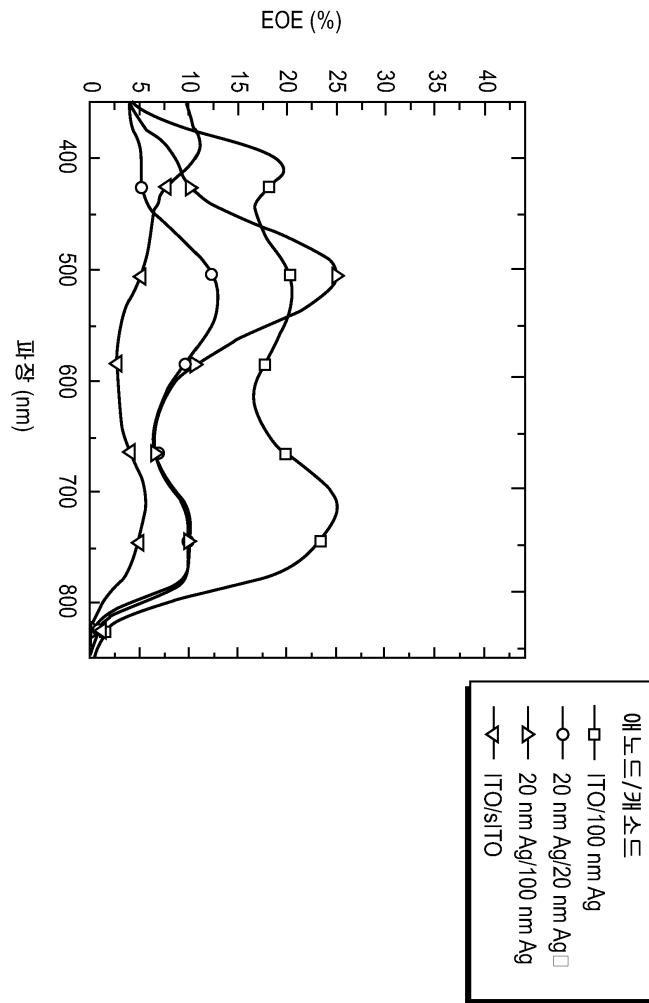
도면3a



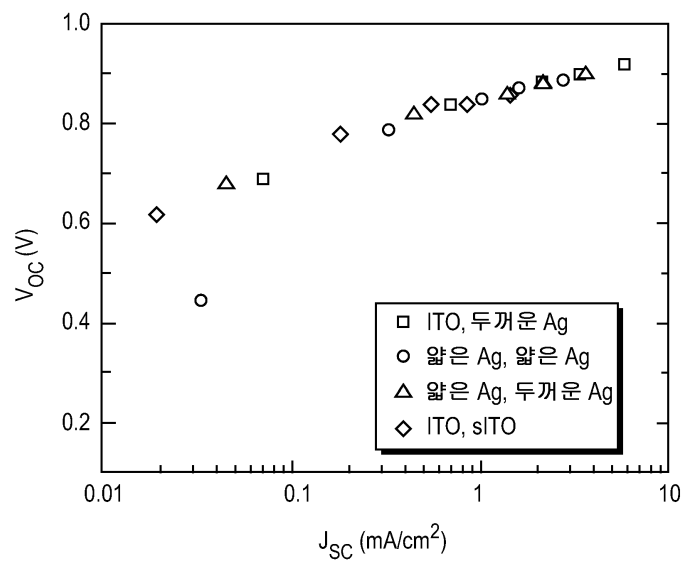
도면3b



도면4



도면5



도면6

