



(19)대한민국특허청(KR)  
(12) 공개특허공보(A)

(51) Int. Cl.

H01L 51/42 (2006.01)  
H01L 51/46 (2006.01)  
H01L 51/46 (2006.01)

(11) 공개번호 10-2007-0053240  
(43) 공개일자 2007년05월23일

(21) 출원번호 10-2007-7005251

(22) 출원일자 2007년03월05일

심사청구일자 없음

번역문 제출일자 2007년03월05일

(86) 국제출원번호 PCT/US2005/027093

(87) 국제공개번호 WO 2006/017403

국제출원일자 2005년07월29일

국제공개일자 2006년02월16일

(30) 우선권주장 10/911,560 2004년08월05일 미국(US)  
10/979,145 2004년11월03일 미국(US)

(71) 출원인 더 트러스티즈 오브 프린스턴 유니버시티  
미합중국 08544-0086 뉴저지주 프린스턴 피.오. 박스 36 프린스턴 유니버시티

(72) 발명자 포레스트 스티븐  
미국 뉴저지주 08540 프린스턴 헌트 드라이브 148  
수에 지안젠  
미국 뉴저지주 08854 피스캣어웨이 아파트먼트 103 데이비드슨로드  
900  
우치다 소이치  
일본 요코하마켄 235-0022 이소고쿠 시오미다이 2-4-2 2401-1 124  
랜드 베리 피.  
미국 뉴저지주 08540 프린스턴 에덴 웨이 31

(74) 대리인 김성기  
김진희

전체 청구항 수 : 총 33 항

(54) 적층형 유기 감광성 장치

(57) 요약

제1 전극, 제2 전극, 특성 흡수 파장  $\lambda_1$ 을 갖는 제1 광활성 영역, 및 특성 흡수 파장  $\lambda_2$ 를 갖는 제2 광활성 영역을 갖는 장치가 제공된다. 이들 광활성 영역은 제1 전극과 제2 전극 사이에 배치되어 있고, 또한, 제1 광활성 영역이 제2 광보다 반사층에 더 가깝도록, 반사층의 동일 측면 상에 위치되어 있다. 광활성 영역을 구성하는 물질은,  $\lambda_1$ 이  $\lambda_2$ 보다 적어도 약 10% 다르도록, 선택될 수 있다. 이 장치는 각각의 광활성 영역의 유기 엑셉터 물질에 인접하여 그와 직접 접촉하게 배치되어 있는 엑시톤 차단층을 더 포함할 수 있으며, 캐소드에 가장 가까운 것 이외의 각각의 엑시톤 차단층의 LUMO는 엑셉터 물질의 LUMO보다 약 0.3 eV 이하 더 크다.

대표도

도 1

특허청구의 범위

청구항 1.

장치로서,

제1 전극,

제2 전극,

상기 제1 전극과 상기 제2 전극 사이에 배치된 제1 유기 광활성 영역, 및

상기 제1 전극과 상기 제2 전극 사이에 배치된 제2 유기 광활성 영역을 포함하고,

상기 제1 유기 광활성 영역 및 상기 제2 유기 광활성 영역은 서로 다른 흡수 특성을 가지며,

상기 장치는 반사층을 포함하며,

상기 제1 유기 광활성 영역 및 상기 제2 유기 광활성 영역은 상기 반사층의 동일 측면 상에 배치되어 있는 것인 장치.

청구항 2.

제1항에 있어서, 상기 장치가 태양 스펙트럼(solar spectra)을 갖는 입사광에 노출될 때, 상기 장치는 총 광학장 세기(total optical field intensity)의 적어도 10%를 흡수하는 것인 장치.

청구항 3.

제1항에 있어서, 상기 장치가 태양 스펙트럼을 갖는 입사광에 노출될 때, 상기 장치는 총 광학장 세기의 적어도 20%를 흡수하는 것인 장치.

청구항 4.

제1항에 있어서, 상기 제1 유기 광활성 영역은 상기 제2 유기 광활성 영역보다 상기 반사층에 더 가까이 배치되어 있고,

상기 제2 광활성 영역의 상위 3개의 흡수 피크 중 적어도 하나의 파장은 상기 제1 광활성 영역의 상위 3개의 흡수 피크 중 적어도 하나보다 더 큰 것인 장치.

청구항 5.

제4항에 있어서, 상기 제2 광활성 영역의 상위 3개의 흡수 피크 중 적어도 하나의 상기 파장은 상기 제1 광활성 영역의 상위 3개의 흡수 피크 중 적어도 하나보다 적어도 10% 더 큰 것인 장치.

**청구항 6.**

제1항에 있어서, 상기 제1 유기 광활성 영역은 상기 제2 유기 광활성 영역보다 상기 반사층에 더 가까이 배치되어 있고, 상기 제2 유기 광활성 영역은 상기 제1 유기 광활성 영역보다 더 큰 파장에서 더 강한 흡수체인 것인 장치.

**청구항 7.**

제1항에 있어서, 상기 제1 전극은 상기 반사층인 것인 장치.

**청구항 8.**

제1항에 있어서, 상기 제1 유기 광활성 영역의 적어도 일부분은 상기 제1 유기 광활성 영역에 가장 가까운 상기 반사층의 가장자리로부터  $\lambda_1 / 4 \pm 25\%$ 의 수직 광 경로 길이(perpendicular optical path length)에 배치되어 있고,

상기 제2 유기 광활성 영역의 적어도 일부분은 상기 제2 유기 광활성 영역에 가장 가까운 상기 반사층의 가장자리로부터  $\lambda_2 / 4 \pm 25\%$ 의 수직 광 경로 길이에 배치되어 있으며,

여기서,  $\lambda_1$ 은 제1 광활성 영역의 상위 3개의 흡수 피크 중 하나의 파장이고,  $\lambda_2$ 는 상기 제2 광활성 영역의 상위 3개의 흡수 피크 중 하나의 파장인 것인 장치.

**청구항 9.**

제1항에 있어서, 각각의 광활성 영역은,

유기 억셉터(acceptor) 물질, 및

상기 유기 억셉터 물질과 직접 접촉하고 있는 유기 도너(donor) 물질을 더 포함하는 것인 장치.

**청구항 10.**

제9항에 있어서, 각각의 유기 광활성 영역은 동일한 유기 억셉터 물질 및 유기 도너 물질을 포함하며,

상기 제1 유기 광활성 영역 및 상기 제2 유기 광활성 영역은 유기 억셉터 물질과 유기 도너 물질을 서로 다른 비율로 포함하고 있는 것인 장치.

**청구항 11.**

제10항에 있어서, 각각의 유기 광활성 영역의 상기 유기 도너 물질은 CuPc이고,

각각의 유기 광활성 영역의 상기 유기 억셉터 물질은 C<sub>60</sub>인 것인 장치.

**청구항 12.**

제11항에 있어서, 상기 제1 유기 광활성 영역의 상기 유기 엑셉터 물질 및 유기 도너 물질은 상기 제2 유기 광활성 영역의 상기 유기 엑셉터 물질 및 유기 도너 물질과 다른 것인 장치.

### 청구항 13.

제12항에 있어서, 상기 제1 유기 광활성 영역의 상기 유기 도너 물질은 CuPc이고,

상기 제1 유기 광활성 영역의 상기 유기 엑셉터 물질은 C<sub>60</sub>이며,

상기 제2 유기 광활성 영역의 상기 유기 도너 물질은 PbPc이고,

상기 제2 유기 광활성 영역의 상기 유기 엑셉터 물질은 PTCBI인 것인 장치.

### 청구항 14.

제1항에 있어서, 각각의 광활성 영역은,

유기 엑셉터 물질과 유기 도너 물질의 혼합물을 포함하는 제1 유기층,

상기 제1 유기층과 직접 접촉하고 있는 제2 유기층으로서, 상기 제1 유기층의 상기 유기 도너 물질의 미혼합된 층을 포함하는 제2 유기층, 및

상기 제1 유기층과 직접 접촉하고 있는 제3 유기층으로서, 상기 제1 유기층의 상기 유기 엑셉터 물질의 미혼합된 층을 포함하는 제3 유기층을 더 포함하고,

엑시톤 차단층(exciton blocking layer)은 상기 제3 유기층에 인접하여 그와 직접 물리적 접촉을 하게 배치되어 있는 것인 장치.

### 청구항 15.

제1항에 있어서, 각각의 광활성 영역은,

유기 엑셉터 물질과 유기 도너 물질의 혼합물을 포함하는 제1 유기층, 및

상기 제1 유기층과 직접 접촉하고 있는 제2 유기층으로서, 상기 제1 유기층의 상기 유기 도너 물질의 미혼합된 층을 포함하는 제2 유기층을 더 포함하고,

엑시톤 차단층은 상기 제1 유기층에 인접하여 그와 직접 물리적 접촉을 하게 배치되어 있는 것인 장치.

### 청구항 16.

제1항에 있어서, 각각의 광활성 영역은,

유기 엑셉터 물질과 유기 도너 물질의 혼합물을 포함하는 제1 유기층, 및

상기 제1 유기층과 직접 접촉하고 있는 제2 유기층으로서, 상기 제1 유기층의 상기 유기 엑셉터 물질의 미혼합된 층을 포함하는 제2 유기층으로 이루어져 있으며,

엑시톤 차단층은 상기 제2 유기층에 인접하여 그와 직접 물리적 접촉을 하게 배치되어 있는 것인 장치.

### 청구항 17.

제1항에 있어서, 각각의 광활성 영역은,

상기 엑셉터 도너 물질의 미혼합된 층을 포함하는 제1 유기층, 및

상기 유기 도너 물질의 미혼합된 층을 포함하는, 상기 제1 유기층과 직접 접촉하고 있는 제2 유기층을 더 포함하고,

엑시톤 차단층은 상기 제1 유기층에 인접하여 그와 직접 물리적 접촉을 하게 배치되어 있는 것인 장치.

### 청구항 18.

제1항에 있어서, 각각의 광활성 영역은,

유기 엑셉터 물질과 유기 도너 물질의 혼합물을 포함하는 제1 유기층으로 이루어져 있고,

엑시톤 차단층은 상기 제1 유기층에 인접하여 그와 직접 물리적 접촉을 하게 배치되어 있는 것인 장치.

### 청구항 19.

제1항에 있어서, 상기 장치는 광기전력 장치인 것인 장치.

### 청구항 20.

제1항에 있어서, 상기 장치는 광검출기인 것인 장치.

### 청구항 21.

제1항에 있어서, 상기 장치는 제3 광활성 영역을 더 포함하는 것인 장치.

### 청구항 22.

장치로서,

제1 전극,

제2 전극,

상기 제1 전극과 상기 제2 전극 사이에 배치된 제1 유기 광활성 영역, 및

상기 제1 전극과 상기 제2 전극 사이에 배치된 제2 유기 광활성 영역을 포함하고,

상기 장치는 반사층을 포함하며,

상기 제1 유기 광활성 영역 및 상기 제2 유기 광활성 영역은 상기 반사층의 동일 측면 상에 배치되고,

$\lambda_1$ 은 제1 광활성 영역의 상위 3개의 흡수 피크 중 하나의 파장이고,  $\lambda_2$ 는 상기 제2 광활성 영역의 상위 3개의 흡수 피크 중 하나의 파장이며,

$\lambda_1$ 은  $\lambda_2$ 와 적어도 약 10% 서로 다르고,

상기 제1 유기 광활성 영역은, 상기 파장  $\lambda_1$ 에 대한 광학장 세기의 최대값이 상기 제1 유기 광활성 영역 내에 또는 상기 제1 유기 광활성 영역의  $0.05 \lambda_1 / n_a$  (여기서,  $n_a$ 는 상기 최대값이 발생하는 상기 물질의 굴절율임)내에 있도록 하는 위치에 배치되어 있으며,

상기 제2 유기 광활성 영역은, 상기 파장  $\lambda_2$ 에 대한 광학장 세기의 최대값이 상기 제2 유기 광활성 영역 내에 또는 상기 제1 유기 광활성 영역의  $0.05 \lambda_2 / n_b$  (여기서,  $n_b$ 는 상기 최대값이 발생하는 상기 물질의 굴절율임)내에 있도록 하는 위치에 배치되어 있는 것인 장치.

### 청구항 23.

제1 전극,

제2 전극,

상기 제1 전극과 상기 제2 전극 사이에 배치된 제1 유기 광활성 영역, 및

상기 제1 전극과 상기 제2 전극 사이에 배치된 제2 유기 광활성 영역을 포함하고,

상기 제1 유기 광활성 영역 및 상기 제2 유기 광활성 영역은 서로 다른 흡수 특성을 가지며,

상기 제1 광활성 영역의 평균 흡수는 파장  $\lambda_1 \pm 5\%$ 의 범위에 걸쳐 상기 제2 광활성 영역의 평균 흡수보다 더 크고,

상기 제2 광활성 영역의 평균 흡수는 파장  $\lambda_2 \pm 5\%$ 의 범위에 걸쳐 상기 제1 광활성 영역의 평균 흡수보다 더 크며,

$\lambda_2$ 는  $\lambda_1$ 보다 적어도 10% 더 큰 것인 장치.

### 청구항 24.

제23항에 있어서, 상기 장치는 반사층을 포함하고,

상기 제1 유기 광활성 영역 및 상기 제2 유기 광활성 영역은 상기 반사층의 동일 측면 상에 배치되어 있으며,

상기 제1 광활성 영역은 상기 제2 광활성 영역보다 상기 반사층에 더 가까이 배치되어 있는 것인 장치.

### 청구항 25.

제24항에 있어서, 상기 제1 전극은 상기 반사층인 것인 장치.

**청구항 26.**

제4항에 있어서, 상기 제1 전극 및 상기 제2 전극은 반사성이 없는 것인 장치.

**청구항 27.**

제23항에 있어서, 상기 제1 광활성 영역의 평균 흡수는 파장  $\lambda_1 \pm 5\%$ 의 범위에 걸쳐 상기 제2 광활성 영역의 평균 흡수보다 적어도 5% 더 크고,

상기 제2 광활성 영역의 평균 흡수는 파장  $\lambda_2 \pm 5\%$ 의 범위에 걸쳐 상기 제1 광활성 영역의 평균 흡수보다 적어도 5% 더 큰 것인 장치.

**청구항 28.**

제23항에 있어서, 상기 제1 광활성 영역 및 상기 제2 광활성 영역 둘다는 물질  $C_{60}$  및 CuPc를 포함하며,

상기 제1 광활성 영역에서의  $C_{60}$ 의 백분율은 상기 제2 광활성 영역에서의  $C_{60}$ 의 백분율보다 큰 것인 장치.

**청구항 29.**

제23항에 있어서, 상기 제1 광활성 영역의 상기 위치에서의 파장  $\lambda_1 \pm 5\%$ 의 범위에 대한 평균 광학장 세기는 상기 제2 광활성 영역의 상기 위치에서의 파장  $\lambda_1 \pm 5\%$ 의 범위에 대한 평균 광학장 세기보다 더 크고,

상기 제2 광활성 영역의 상기 위치에서의 파장  $\lambda_2 \pm 5\%$ 의 범위에 대한 평균 광학장 세기는 상기 제1 광활성 영역의 상기 위치에서의 파장  $\lambda_2 \pm 5\%$ 의 범위에 대한 평균 광학장 세기보다 더 큰 것인 장치.

**청구항 30.**

제27항에 있어서, 상기 제1 광활성 영역의 상기 위치에서의 파장  $\lambda_1 \pm 5\%$ 의 범위에 대한 평균 광학장 세기는 상기 제2 광활성 영역의 상기 위치에서의 파장  $\lambda_1 \pm 5\%$ 의 범위에 대한 평균 광학장 세기보다 더 크고,

상기 제2 광활성 영역의 상기 위치에서의 파장  $\lambda_2 \pm 5\%$ 의 범위에 대한 평균 광학장 세기는 상기 제1 광활성 영역의 상기 위치에서의 파장  $\lambda_2 \pm 5\%$ 의 범위에 대한 평균 광학장 세기보다 더 큰 것인 장치.

**청구항 31.**

제23항에 있어서, 상기 제1 전극과 상기 제2 전극 사이에 배치된 제3 유기 광활성 영역을 더 포함하는 장치.

**청구항 32.**

제31항에 있어서, 상기 제1 유기 광활성 영역, 상기 제2 유기 광활성 영역, 및 상기 제3 유기 광활성 영역 각각은 서로 다른 흡수 특성을 가지며,

상기 제3 유기 광활성 영역의 평균 흡수는 파장  $\lambda_3 \pm 5\%$ 의 범위에 걸쳐 상기 제1 광활성 영역의 평균 흡수 및 상기 제2 광활성 영역의 평균 흡수보다 더 크고,

상기 제1 광활성 영역의 평균 흡수는 파장  $\lambda_1 \pm 5\%$ 의 범위에 걸쳐 상기 제3 광활성 영역의 평균 흡수보다 더 크며,

상기 제2 광활성 영역의 평균 흡수는 파장  $\lambda_2 \pm 5\%$ 의 범위에 걸쳐 상기 제3 광활성 영역의 평균 흡수보다 더 큰 것인 장치.

### 청구항 33.

제31항에 있어서, 상기 제3 광활성 영역은 상기 제1 광활성 영역의 상기 흡수 특성과 동일한 흡수 특성을 갖는 것인 장치.

#### 명세서

##### 기술분야

본 출원은 2004년 8월 5일자로 출원된 미국 특허 출원 연속 번호 제10/911,560호(Forrest)의 일부 계속 출원이며, 이 출원은 그 전체 내용이 본 명세서에 참고 인용되어 있다.

본 발명은 일반적으로 유기 감광성 광전 장치(organic photosensitive optoelectronic device)에 관한 것이다. 보다 구체적으로, 본 발명은 증가된 효율을 갖는 유기 감광성 광전 장치에 관한 것이다.

##### 배경기술

광전 장치는 전자기 방사선을 전자적으로 생성 또는 검출하기 위해 또는 주위 전자기 방사선으로부터 전기를 발생하기 위해 물질의 광학적 및 전자적 특성에 의존한다.

감광성 광전 장치는 전자기 방사선을 전기로 변환한다. 광기전력(photovoltaic, PV) 장치라고도 칭하는 태양 전지는, 구체적으로 전력을 발생하는 데 사용되는, 감광성 광전 장치의 유형이다. 태양광 이외의 광원으로부터 전기 에너지를 발생시킬 수 있는 PV 장치는, 예를 들어, 조명, 난방을 제공하기 위해, 또는 계산기, 라디오, 컴퓨터 또는 원격 모니터링 또는 통신 장비 등의 장치나 전자 회로에 전력을 제공하기 위해, 전력 소비 부하를 구동하는 데 사용될 수 있다. 이들 전력 발생 응용은 또한 종종, 태양 또는 다른 광원으로부터의 직접 조명이 이용가능하지 않을 때 작동이 계속될 수 있도록, 또는 PV 장치의 전력 출력을 특정의 응용의 요건과 균형을 맞추기 위해, 배터리 또는 다른 에너지 저장 장치의 충전을 포함한다. 본 명세서에서 사용되는 바와 같이, 용어 "저항성 부하(resistive load)"는 임의의 전력 소모 또는 저장 회로, 장치, 장비 또는 시스템을 말한다.

다른 유형의 감광성 광전 장치는 광전도체 전지(photoconductor cell)이다. 이 기능을 설명하면, 신호 검출 회로는 광의 흡수로 인한 변화를 검출하기 위해 장치의 저항을 모니터링한다.

또 다른 유형의 감광성 광전 장치는 광검출기(photodetector)이다. 작동을 설명하면, 광검출기는 광검출기가 전자기 방사선에 노출될 때 발생하는 전류를 측정하는 전류 검출 회로와 관련하여 사용되며, 인가된 바이어스 전압을 가질 수 있다. 본 명세서에 기술된 바와 같이 검출 회로는 광검출기에 바이어스 전압을 제공할 수 있고 또 전자기 방사선에 대한 광검출기의 전자적 응답을 측정할 수 있다.

이들 3가지 부류의 감광성 광전 장치는 이하에 정의된 바와 같은 정류 접합(rectifying junction)이 존재하는지에 따라 또한 장치가 외부 인가 전압(바이어스 또는 바이어스 전압이라고도 공지되어 있기도 함)으로 작동되는지에 따라 특성화될 수 있다. 광전도체 전지는 정류 접합을 갖지 않으며 통상적으로 바이어스로 작동된다. PV 장치는 적어도 하나의 정류 접합을 가지며, 바이어스 없이 작동된다. 광검출기는 적어도 하나의 정류 접합을 가지며 항상 그렇지는 않지만 보통 바이어스로 작동된다. 일반적인 규칙으로서, 광기전력 전지는 회로, 장치 또는 장비에 전력을 제공하지만, 검출 회로를 제어하는 신호

또는 전류, 또는 검출 회로로부터의 정보의 출력을 제공하지 않는다. 이와 반대로, 광검출기 또는 광전도체는 검출 회로를 제어하는 신호 또는 전류, 또는 검출 회로로부터의 정보의 출력을 제공하지만, 회로, 장치 또는 장비에 전력을 제공하지는 않는다.

전통적으로, 감광성 광전 장치는 다수의 무기 반도체, 예를 들어 결정질, 다결정질, 및 비정질 규소, 비소화갈륨, 텔루르화 카드뮴 및 기타로 구성되어 있다. 본 명세서에서, 용어 "반도체"는, 전하 캐리어가 열적 또는 전자기적 여기에 의해 유도될 때, 전기를 전도할 수 있는 물질을 나타낸다. 용어 "광전도성(photoconductive)"은 일반적으로 전자기 방사선 에너지가 흡수되고 그에 따라 전기 전하 캐리어의 여기 에너지로 변환되어 그 캐리어가 물질에서 전기 전하를 전도, 즉 수송할 수 있도록 하는 프로세스에 관한 것이다. 용어 "광전도체" 및 "광전도성 물질"은 본 명세서에서 전자기 방사선을 흡수하여 전기 전하 캐리어를 발생하는 특성을 위해 선택된 반도체 물질을 말하는 데 사용된다.

PV 장치는 입사 태양 전력(incident solar power)을 유용한 전기 전력으로 변환할 수 있는 효율에 의해 특성화될 수 있다. 결정질 또는 비정질 규소를 이용하는 장치는 상업적 응용을 좌우하고 있으며, 일부는 23% 이상의 효율을 달성하고 있다. 그렇지만, 매우 큰 표면적의 효율적인 결정질-기반 장치는, 유의적인 효율-저하 결점이 없이 큰 결정을 생성하는 데 있어서의 본질적인 문제점으로 인해, 생산하기가 어렵고 비용이 많이 든다. 반면에, 고효율 비정질 규소 장치는 여전히 안정성에 있어서의 문제점이 있다. 현재 상업적으로 이용가능한 비정질 규소 전지는 효율을 4% 내지 8%로 안정화시키고 있다. 보다 최근의 시도들은 경제적인 생산 비용으로 타당한 광기전력 변환 효율을 달성하는 유기 광기전력 전지의 사용에 중점을 두고 있다.

PV 장치는, 광전류 × 광전압의 최대 곱을 얻기 위해, 표준 조명 조건(즉, 1000 W/m<sup>2</sup>, AM1.5 스펙트럼 조명인 표준 테스트 조건) 하에서 최대의 전기 전력 발생을 위해 최적화될 수 있다. 표준 조명 조건 하에서의 이러한 전지의 전력 변환 효율은 이하의 3가지 파라미터, 즉 (1) 0 바이어스 하에서의 전류, 즉 단락 회로 전류 I<sub>SC</sub>, (2) 개방 회로 조건 하에서의 광전압, 즉 개방 회로 전압 V<sub>OC</sub>, 및 (3) 필 팩터(fill factor), ff에 의존한다.

PV 장치는, 부하의 양단에 연결되고 광에 의해 조사될 때, 광발생된 전류를 생성한다. 무한 부하 하에서 조사될 때, PV 장치는 그의 최대 가능 전압, V 개방-회로, 즉 V<sub>OC</sub>를 발생한다. 그의 전기 접점이 단락된 상태에서 조사될 때, PV 장치는 그의 최대 가능 전류, I 단락-회로, 즉 I<sub>SC</sub>를 발생한다. 전력을 발생하기 위해 실제로 사용될 때, PV 장치는 유한 저항성 부하에 연결되고, 전류와 전압의 곱, I×V에 의해 전력 출력이 제공된다. PV 장치에 의해 발생하는 최대 총 전력은 본질적으로 곱 I<sub>SC</sub>×V<sub>OC</sub>를 초과할 수 없다. 부하값이 최대 전력 추출을 위해 최적화되어 있을 때, 전류 및 전압은 각각 I<sub>max</sub> 및 V<sub>max</sub>를 갖는다.

PV 장치에 대한 감도 지수(figure of merit)는 다음과 같이 정의되는 필 팩터(ff)이다.

$$ff = \{ I_{max} V_{max} \} / \{ I_{SC} V_{OC} \}$$

여기서, ff는 항상 1보다 작은데, 그 이유는 실제의 사용에서 I<sub>SC</sub> 및 V<sub>OC</sub>가 동시에 결코 얻어지지 않기 때문이다. 그럼에도 불구하고, ff가 1에 가까워짐에 따라, 이 장치는 더 작은 직렬 또는 내부 저항을 가지며 따라서 최적 조건 하에서 I<sub>SC</sub>와 V<sub>OC</sub>의 곱의 더 큰 백분율을 부하에 전달한다. P<sub>inc</sub>가 장치에 입사하는 전력인 경우, 장치의 전력 효율 η<sub>P</sub>은 다음과 같이 계산될 수 있다.

$$\eta_P = ff * (I_{SC} * V_{OC}) / P_{inc}$$

적절한 에너지의 전자기 방사선이 반도체 유기 물질, 예를 들어 유기 분자 결정(organic molecular crystal, OMC) 물질 또는 폴리머에 입사될 때, 여기된 분자 상태를 생성하기 위해 광자가 흡수될 수 있다. 이것은 기호로서  $S_0 + h\nu \rightarrow S_0^*$ 로 표현된다. 여기서, S<sub>0</sub> 및 S<sub>0</sub><sup>\*</sup>은 각각 바닥 분자 상태(ground molecular state) 및 여기 분자 상태(excited molecular state)를 나타낸다. 이 에너지 흡수는 π-결합일 수 있는 HOMO 에너지 준위에서의 결합된 상태로부터 π\*-결합일 수 있는 LUMO 에너지 준위로의 전자의 격상(promotion), 또는 등가적으로 LUMO 에너지 준위로부터 HOMO 에너지 준위로의 정공(hole)의 격상과 연관되어 있다. 유기 박막 광전도체에서, 발생된 분자 상태는 일반적으로 엑시톤(exciton), 즉 준입자(quasi-particle)로서 수송되는 결합된 상태에 있는 전자-정공 쌍인 것으로 생각된다. 그 엑시톤은, 다른 쌍으로부터

의 정공 또는 전자와의 재결합과는 달리 원래의 전자와 정공의 서로와의 재결합의 프로세스를 말하는, 제짝 재결합(geminate recombination) 이전에 상당한 수명을 가질 수 있다. 광전류를 생성하기 위해, 전자-정공 쌍은 일반적으로 2개의 서로 다른 접촉 유기 박막 사이의 도너-억셉터 계면에서 분리된다. 전하가 분리되지 않으면, 이들은, 입사광보다 낮은 에너지의 광의 방출에 의해 방사적으로 또는 열의 생성에 의해 비방사적으로, 소광(quenching)이라고도 칭하는 제짝 재결합 프로세스에서 재결합할 수 있다. 이들 결과 중 어느 하나는 감광성 광전 장치에서 바람직하지 않다.

접촉에서의 전계 또는 이질성으로 인해 엑시톤이 도너-억셉터 계면에서 해리하기 보다는 오히려 소광할 수 있으며, 그 결과 전류에의 순 기여분이 없다. 따라서, 광발생 엑시톤을 접점으로부터 멀리 떨어지도록 유지하는 것이 바람직하다. 이것은, 관련 전계가 접합 근방에서의 엑시톤의 해리(dissociation)에 의해 유리된 전하 캐리어를 분리시킬 기회가 증가하도록, 엑시톤의 확산을 접합 근방의 영역으로 제한하는 효과를 갖는다.

상당한 부피를 차지하는 내부적으로 발생된 전계를 생성하기 위해, 통상의 방법은, 특히 그의 분자 양자 에너지 상태의 분포에 대해, 적절히 선택된 전도 특성을 갖는 2개의 물질층을 병렬 배치하는 것이다. 이들 2개의 물질의 계면은 광기전력 헤테로접합(photovoltaic heterojunction)이라고 한다. 종래의 반도체 이론에서, PV 헤테로접합을 형성하기 위한 물질은 일반적으로 n형 또는 p형으로 나타낸다. 여기서, n-형은 다수 캐리어 유형이 전자임을 나타낸다. 이것은 많은 전자가 비교적 자유 에너지 상태에 있는 물질로 볼 수 있다. p-형은 다수 캐리어 유형이 정공임을 나타낸다. 이러한 물질은 많은 정공이 비교적 자유 에너지 상태에 있다. 백그라운드, 즉 광발생된 것이 아닌, 대다수 캐리어 농도의 유형은 결합 또는 불순물에 의한 의도하지 않은 도핑에 주로 의존한다. 불순물의 유형 및 농도는, HOMO(highest occupied molecular orbital, 최고 점유 분자 궤도함수) 에너지 준위와 LUMO(lowest unoccupied molecular orbital, 최저 비점유 분자 궤도함수) 에너지 준위 간의 갭(HOMO-LUMO 갭이라고 함) 내에서, 페르미 에너지, 또는 준위(level)의 값을 결정한다. 페르미 에너지는 점유 확률이 1/2인 에너지 값으로 표시된 분자 양자 에너지 상태의 통계적 점유를 특성화한다. LUMO 에너지 준위 근방의 페르미 에너지는 전자가 우세 캐리어(predominant carrier)임을 나타낸다. HOMO 에너지 준위 근방의 페르미 준위는 정공이 우세 캐리어임을 나타낸다. 따라서, 페르미 에너지는 종래의 반도체의 주된 특성적 속성이고, 전형적인 PV 헤테로접합은 전통적으로 p-n 계면이다.

용어 "정류"는, 특히, 계면이 비대칭 전도 특성을 갖는 것을 나타낸다. 즉 계면이 양호하게는 한 방향으로의 전자 전하 수송을 지원한다는 것을 나타낸다. 정류는 통상적으로 적절히 선택된 물질들 간의 헤테로접합에서 발생하는 내부 전계(built-in electric field)와 연관되어 있다.

본 명세서에서 사용되는 바와 같이 그리고 당업자라면 잘 알고 있는 바와 같이, 제1 에너지 준위가 진공 에너지 준위에 보다 가까운 경우, 제1 "HOMO(Highest Occupied Molecular Orbital)" 또는 "LUMO(Lowest Unoccupied Molecular Orbital)" 에너지 준위는 제2 HOMO 또는 LUMO 에너지 준위보다 "크거나" "높다". 이온화 전위(ionization potential, IP)가 진공 준위에 상대적인 음수 에너지로서 측정되기 때문에, 더 높은 HOMO 에너지 준위는 더 작은 절대값을 갖는 IP(더 작은 음수인 IP)에 대응한다. 이와 유사하게, 더 높은 LUMO 에너지 준위는 더 작은 절대값을 갖는 전자 친화력(electron affinity, EA)(더 작은 음수인 EA)에 대응한다. 진공 준위가 상단에 있는 종래의 에너지 준위 다이어그램에서, 물질의 LUMO 에너지 준위는 동일 물질의 HOMO 에너지 준위보다 더 높다. "더 높은" HOMO 또는 LUMO 에너지 준위는 "더 낮은" HOMO 또는 LUMO 에너지 준위보다 이러한 다이어그램의 상단에 더 가깝게 나타난다.

유기 물질과 관련하여, 용어 "도너" 및 "억셉터"는, 2개의 접촉하지만 서로 다른 유기 물질의 HOMO 및 LUMO 에너지 준위의 상대적 위치를 말한다. 이것은 무기 물질에서의 이들 용어의 사용과 반대인데, 무기 물질에서는 "도너" 및 "억셉터"는 각각 무기 물질 n-형층 및 p-형층을 생성하는 데 사용될 수 있는 도펀트의 유형을 말할 수 있다. 유기 물질과 관련해서는, 다른 물질과 접촉하고 있는 한 물질의 LUMO 에너지 준위가 보다 낮은 경우, 그 물질은 억셉터이다. 그렇지 않은 경우, 그것은 도너이다. 외부 바이어스가 없는 상태에서, 도너-억셉터 접합에 있는 전자가 억셉터 물질 내로 이동하고 정공이 도너 물질 내로 이동하는 것이 에너지적으로 유리하다.

유기 반도체에서의 중요한 속성은 캐리어 이동도(carrier mobility)이다. 이동도는 전하 캐리어가 전계에 응답하여 전도 물질을 통해 이동할 수 있는 용이성의 척도이다. 유기 감광성 장치와 관련하여, 높은 전자 이동도로 인해 전자에 의해 우선적으로 전도하는 물질을 포함하는 층은 전자 수송층(electron transport layer, ETL)이라고 할 수 있다. 높은 정공 이동도로 인해 정공에 의해 우선적으로 전도되는 물질을 포함하는 층은 정공 수송층(hole transport layer, HTL)이라고 할 수 있다. 반드시 그럴 필요는 없지만 양호하게는, 억셉터 물질은 ELT이고, 도너 물질은 HTL이다.

종래의 무기 반도체 PV 전지는 내부 전계를 확립하기 위해 p-n 접합을 이용한다. 문헌[Tang, Appl. Phys Lett. 48, 183 (1986)]에 의해 보고된 바와 같이 초기 유기 박막 전지는 종래의 무기 PV 전지에서 이용된 것과 유사한 헤테로접합을 포함한다. 그렇지만, p-n형 접합의 확립 이외에, 헤테로접합의 에너지 준위 오프셋도 역시 중요한 역할을 하는 것으로 현재 인식되고 있다.

유기 D-A 헤테로접합에서의 에너지 준위 오프셋은, 유기 물질에서의 광발생 프로세스의 기본적인 성질로 인해, 유기 PV 장치의 작동에 중요한 것으로 생각된다. 유기 물질의 광 여기 시에, 국소화된 프렌켈(Frenkel) 또는 전하-이동 엑시톤(charge-transfer exciton)이 발생된다. 전기 검출 또는 전류 발생이 발생하기 위해, 결합된 엑시톤이 그의 성분 전자 및 정공으로 해리되어야만 한다. 이러한 프로세스는 내부 전계에 의해 유도될 수 있지만, 유기 장치에서 일반적으로 발견되는 전계( $F \sim 10^6$  V/cm)에서의 효율이 낮다. 유기 물질에서의 가장 효율적인 엑시톤 해리는 도너-억셉터(D-A) 계면에서 일어난다. 이러한 계면에서, 낮은 이온화 전위를 갖는 도너 물질은 높은 전자 친화력을 갖는 억셉터 물질과 헤테로접합을 형성한다. 도너 및 억셉터 물질의 에너지 준위의 정렬에 따라, 엑시톤의 해리는 이러한 계면에서 에너지적으로 유리할 수 있으며, 이는 억셉터 물질에서의 자유 전자 폴라론(free electron polaron) 및 도너 물질에서의 자유 정공 폴라론(free hole polaron)을 가져온다.

유기 PV 전지는 종래의 규소-기반 장치와 비교할 때 많은 잠재적인 이점을 갖는다. 유기 PV 전지는 경량이고, 물질 사용에 있어서 경제적이며, 연질 플라스틱 호일(flexible plastic foil) 등의 저렴한 기판 상에 증착될 수 있다. 그렇지만, 일부 유기 PV 장치는 일반적으로 비교적 낮은 외부 양자 효율(약 1% 이하임)을 갖는다. 이것은 부분적으로 고유 광전도 프로세스(intrinsic photoconductive process)의 2차 성질로 인한 것으로 생각된다. 즉, 캐리어 발생은 엑시톤 발생, 확산 및 이온화 또는 수집을 필요로 한다. 효율  $\eta$ 이 이들 프로세스 각각과 연관되어 있다. 첨자는 다음과 같이 사용될 수 있다. 즉, 전력 효율에 대해 P, 외부 양자 효율에 대해 EXT, 광자 흡수에 대해 A, 엑시톤 확산에 대해 ED, 전하 수집에 대해 CC, 및 내부 양자 효율에 대해 INT를 사용한다. 이 표기법을 사용하면,

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

$$\eta_{EXT} = \eta_A * \eta_{INT}$$

이다.

엑시톤의 확산 길이(diffusion length)( $L_D$ )는 일반적으로 광 흡수 길이(optical absorption length)( $\sim 500\text{\AA}$ )보다 훨씬 더 작으며( $L_D \sim 50\text{\AA}$ ), 이는 다수의 또는 여러겹의(highly folded) 계면을 갖는 두겹고, 따라서 저항성인 전지를 사용하는 것과 낮은 광 흡수 효율을 갖는 얇은 전지를 사용하는 것 간의 트레이드 오프(tradeoff)가 필요하다.

일반적으로, 유기 박막에 엑시톤을 형성하기 위해 광이 흡수될 때, 단일상태 엑시톤(singlet exciton)이 형성된다. 계간 전이(intersystem crossing)의 메커니즘에 의해, 단일상태 엑시톤은 삼중상태 엑시톤(triplet exciton)으로 붕괴될 수 있다. 이 프로세스에서, 에너지가 손실되고, 그 결과 장치의 효율이 보다 낮아지게 된다. 계간 전이로부터 에너지 손실이 없는 경우, 삼중상태 엑시톤을 발생하는 물질을 사용하는 것이 바람직한데, 그 이유는 삼중상태 엑시톤이 일반적으로 단일상태 엑시톤보다 더 긴 수명, 따라서 더 긴 확산 길이를 갖기 때문이다.

## 발명의 상세한 설명

### 발명의 개요

제1 전극, 제2 전극, 특성 흡수 파장  $\lambda_1$ 을 갖는 제1 광활성 영역, 및 특성 흡수 파장  $\lambda_2$ 를 갖는 제2 광활성 영역을 갖는 장치가 제공된다. 이들 광활성 영역은 제1 전극과 제2 전극 사이에 배치되어 있고, 또한, 제1 광활성 영역이 제2 광보다 반사층에 더 가깝도록, 반사층의 동일 측면 상에 위치되어 있다. 광활성 영역을 구성하는 물질은,  $\lambda_1$ 이  $\lambda_2$ 보다 적어도 약 10% 다르도록, 선택될 수 있다. 이 장치는 각각의 광활성 영역의 유기 억셉터 물질에 인접하여 그와 직접 접촉하게 배치되어 있는 엑시톤 차단층을 더 포함할 수 있으며, 여기서 캐소드에 가장 가까운 것 이외의 각각의 엑시톤 차단층의 LUMO는 억셉터 물질의 LUMO보다 약 0.3 eV 이하 더 크다.

도면의 간단한 설명

도 1은 애노드, 애노드 평탄화층(anode smoothing layer), 도너층, 엑셉터층, 차단층, 및 캐소드를 포함하는 유기 PV 장치를 나타낸 도면이다.

도 2는 2개의 전지를 직렬로 적층함으로써 형성된 유기 탠덤 장치(organic tandem device)를 나타낸 도면이다.

도 3은  $\lambda=450\text{nm}$ (실선) 및  $\lambda=650\text{nm}$ (점선)에서의 광학장 세기(optical field intensity)를, 비대칭 유기 탠덤 전지 B(표 1 참조)(이의 구조는 도 3의 상단에 개략적으로 도시함)에서의 캐소드로부터의 거리의 함수로서 나타낸 도면이다.

도 4는 전지 B의 전방(점선) 및 후방(실선) 전지에 대한 계산된 외부 양자 효율 스펙트럼을 나타낸 도면이다.

도 5는 어둠속에서 또한 시뮬레이션된 AM1.5G 태양 조명의 여러가지 세기 하에서의 비대칭 유기 탠덤 전지 A의 전류 밀도 대 전압(J-V) 특성을 나타낸 도면이다.

도 6은 5% 단일 CuPc/C<sub>60</sub> 하이브리드 평면-혼합 헤테로접합 전지(비어있는 역삼각형)와 비교한, 시뮬레이션된 AM1.5G 태양 조명 하에서의 비대칭 유기 탠덤 전지(A(채워진 정사각형), B(비어있는 원), C(채워진 삼각형))의 전력 변환 효율 ( $\eta_p$ )의 조명 세기( $P_o$ ) 의존성을 나타낸 도면이다.

도 7은 도 6에 나타낸 탠덤 및 단일 하이브리드 PM-HJ 전지의 필 팩터(FF)를 나타낸 도면이다.

도 8은 대표적인 수직 광 경로 길이를 갖는 PV 장치의 2가지 가능한 기하구조를 나타낸 도면이다.

도 9는 ITO 상에 증착된, 여러가지 혼합비를 갖는 CuPc:C<sub>60</sub>의 흡수 스펙트럼을 나타낸 도면이다.

발명의 상세한 설명

유기 감광성 광전 장치가 제공된다. 본 발명의 실시양태의 유기 장치는, 예를 들어, 입사 전자기 방사선으로부터의 사용가능한 전기 전류를 발생하는데 사용될 수 있거나(예를 들어, PV 장치), 또는 입사 전자기 방사선을 검출하는데 사용될 수 있다. 본 발명의 실시양태들은 애노드, 캐소드, 및 애노드와 캐소드 사이의 광활성 영역을 포함할 수 있다. 광활성 영역은, 전기 전류를 발생하기 위해 해리될 수 있는 엑시톤을 발생하기 위해, 전자기 방사선을 흡수하는 감광성 장치의 일부분이다. 유기 감광성 광전 장치는 또한 이 장치에 의해 입사 방사선이 흡수될 수 있게 해주기 위해 적어도 하나의 투명 전극을 포함할 수 있다. 몇가지 PV 장치 물질 및 구성이 미국 특허 제6,657,378호, 제6,580,027호, 및 제6,352,777호에 기술되어 있으며, 이들은 그 전체 내용이 본 명세서에 참고 인용되어 있다.

도 1은 유기 감광성 광전 장치(100)를 나타낸 것이다. 도면들이 반드시 축척대로 그려져 있는 것은 아니다. 장치(100)는 기관(110), 애노드(115), 애노드 평탄화층(120), 도너층(125), 엑셉터층(130), 차단층(135), 및 캐소드(140)를 포함할 수 있다. 캐소드(140)는 제1 전도층 및 제2 전도층을 갖는 복합 캐소드(compound cathode)일 수 있다. 장치(100)는 상기한 층들을 순서대로 증착함으로써 제조될 수 있다. 전하 분리는 도너층(125)과 엑셉터층(130) 사이의 유기 헤테로접합에서 주로 일어날 수 있다. 헤테로접합에서의 내부 전위(built-in potential)는 헤테로접합을 형성하기 위해 접촉하는 2개의 물질 사이의 HOMO-LUMO 에너지 준위차에 의해 결정된다. 도너 물질과 엑셉터 물질 간의 HOMO-LUMO 갭 오프셋은 도너/엑셉터 계면에 전계를 생성하며, 계면의 엑시톤 확산 길이 내에서 생성된 엑시톤에 대한 전하 분리를 용이하게 해준다.

도 1에 나타낸 층들의 특징의 배열은 단지 예시적인 것이며, 제한하려는 것이 아니다. 예를 들어, 층들 중 일부(차단층 등)는 생략될 수 있다. 다른 층들(반사층 또는 부가적인 엑셉터층 및 도너층 등)이 부가될 수 있다. 층들의 순서는 변경될 수 있다. 구체적으로 기술된 것 이외의 배열이 사용될 수 있다.

이 기관은 원하는 구조적 특성을 제공하는 임의의 적당한 기관일 수 있다. 이 기관은 연질(flexible) 또는 경질(rigid)이거나, 평면 또는 비평면일 수 있다. 이 기관은 투명, 반투명 또는 불투명일 수 있다. 플라스틱 및 유리가 양호한 경질 기관 물질의 예들이다. 플라스틱 및 금속 호일은 양호한 연질 기관 물질의 예들이다. 기관의 물질 및 두께는 원하는 구조적 및 광학적 특성을 획득하도록 선택될 수 있다.

본 명세서에 참고 인용된 포함된 미국 특허 제6,352,777호는 감광성 광전 장치에서 사용될 수 있는 전극 또는 접점의 예를 제공한다. 본 명세서에서 사용될 때, 용어 "전극(electrode)" 및 "접점(contact)"은 광발생된 전류를 외부 회로에 전달하거나 바이어스 전압을 장치에 제공하는 매체를 제공하는 층을 말한다. 즉, 전극 또는 접점은, 전하 캐리어를 외부 회로로 수송하고/수송하거나 그 외부 회로로부터 수송받기 위한, 유기 감광성 광전 장치의 활성 영역과 와이어, 리드, 배선 또는 다른 수단 간의 계면을 제공한다. 감광성 광전 장치에서, 외부 장치로부터의 최대량의 주위 전자기 방사선이 광전도성 활성 내부 영역으로 들어올 수 있게 해주는 것이 바람직하다. 즉, 전자기 방사선은 광전도층(들)에 도달해야만 하며, 여기서 이 방사선은 광전도 흡수(photoconductive absorption)에 의해 전기로 변환될 수 있다. 이것은 종종 전기 접점 중 적어도 하나가 입사 전자기 방사선을 최소한도로 흡수하고 최소한도로 반사해야만 하는 것을 필요로 한다. 즉, 이러한 접점은 거의 투명해야만 한다. 대향하는 전극은, 흡수되지 않고 전지를 통과한 광이 다시 전지를 통해 반사되도록, 반사성 물질일 수 있다. 본 명세서에서 사용되는 바와 같이, 하나의 물질층 또는 서로 다른 물질의 몇개의 층의 시퀀스는, 이 층 또는 층들이 관련 과정에서 주위 전자기 방사선의 적어도 50%가 그 층 또는 층들을 통해 투과될 수 있게 해주는 경우, "투명"하다고 말해진다. 이와 유사하게, 관련 과정에서 주위 전자기 방사선의 일부를, 하지만 50% 미만의 투과를 가능하게 해주는 층들은 "반투명"하다고 말해진다.

본 명세서에서 사용되는 바와 같이, "상부"는 기관으로부터 가장 멀리 떨어져 있는 것을 의미하는 반면, "하부"는 기관에 가장 가까이 있는 것을 의미한다. 예를 들어, 2개의 전극을 갖는 장치의 경우, 하부 전극은 기관에 가장 가까운 전극이고, 일반적으로 제조된 제1 전극이다. 하부 전극은 2개의 표면, 즉 기관에 가장 가까운 하부 표면 및 기관으로부터 보다 멀리 떨어져 있는 상부 표면을 갖는다. 제1층이 제2층 "위에 증착"되어 있는 것으로 기술되는 경우, 제1층은 기관으로부터 보다 멀리 증착되어 있다. 제1층이 제2층과 "물리적으로 접촉"하고 있는 것으로 언급되지 않는 한, 제1층과 제2층 사이에 다른 층들이 있을 수 있다. 예를 들어, 캐소드와 애노드 사이에 여러가지 유기층이 있을지라도, 캐소드는 애노드 "위에 증착"되어 있는 것으로 기술될 수 있다.

전극은 양호하게는 금속 또는 "금속 대체물"로 이루어져 있다. 본 명세서에서, 용어 "금속"은 원소적으로 순수한 금속, 예를 들어 Mg 및 2개 이상의 원소적으로 순수한 금속, 예를 들어 Mg 및 Ag 함께 이루어진 물질인 금속 합금(Mg:Ag로 표기됨) 둘다를 포괄하기 위해 사용된다. 여기서, 용어 "금속 대체물"은 일반적인 정의 내에서의 금속이 아니라 일부 적절한 응용에서 요망되는 금속과 유사한 특성을 갖는 물질을 말한다. 전극 및 전하 이동층에 대해 통상 사용되는 금속 대체물은 도핑된 광역 밴드갭 반도체(doped wide-bandgap semiconductor), 예를 들어 ITO(indium tin oxide), GITO(gallium indium tin oxide), 및 ZITO(zinc indium tin oxide) 등의 투명한 전도성 산화물을 포함한다. 상세하게는, ITO는 대략 3.2eV의 광학 밴드갭(optical bandgap)을 갖는 고도로 도핑된 축퇴 n+ 반도체(highly doped degenerate n+ semiconductor)이며, 그 밴드갭은 그 반도체를 대략 3900Å보다 높은 파장에 투명하게 한다. 다른 적당한 금속 대체물은 투명한 전도성 폴리머 폴리아닐린(PANI) 및 그의 화학적 동족물(chemical relative)이다. 금속 대체물은 또한 광범위한 비금속 물질로부터 선택될 수 있으며, 여기서 "비금속"은, 그 물질이 화학적으로 비결합된 형태의 금속을 함유하지 않는다는 전제 하에, 광범위한 물질을 포함하는 것을 의미한다. 금속이, 단독으로 또는 합금으로서 하나 이상의 다른 금속과 조합하여, 화학적으로 비결합된 형태로 존재하는 경우, 이 금속은 다른 대안으로서 그의 금속 형태로 존재한다고 하거나 또는 "자유 금속"이라고 말할 수 있다. 따라서, 본 발명의 금속 대체물 전극은 때때로 "금속 무함유"라고 말해질 수 있으며, 여기서 용어 "금속 무함유"는 명백하게 그의 화학적으로 비결합된 형태의 금속을 함유하지 않은 물질을 포함하는 것을 의미한다. 자유 금속은 금속 격자 전체에 걸쳐 일반적으로 전자 전도 밴드에서 자유로이 움직이는 방대한 양의 원자가 전자로부터 얻어지는 금속 결합의 형태를 갖는다. 금속 대체물이 금속 성분을 포함할 수 있지만, 이들은 몇가지 점에서 "비금속"이다. 이들은 순수한 자유 금속도 아니고 자유 금속의 합금도 아니다. 금속이 그의 금속 형태로 존재할 때, 전자 전도 밴드는, 금속 특성들, 특히 광학 방사선에 대한 높은 전기 전도성 뿐만 아니라 높은 반사성을 제공하는 경향이 있다.

본 발명의 실시양태들은, 감광성 광전 장치의 투명 전극 중 하나 이상으로서, 미국 특허 제6,420,031호(Parthasarathy et al.)("Parthasarathy' 031")에 개시된 것 등의 고도로 투명한 비금속 저저항 캐소드, 또는 미국 특허 제5,703,436호(Forrest et al.)("Forrest' 436")에 개시된 것 등의 고도로 효율적인 저저항 금속/비금속 화합물 캐소드를 포함할 수 있으며, 이들은 그 전체 내용이 본 명세서에 참고 인용되어 있다. 각각의 유형의 캐소드는 양호하게는 고도로 투명한 비금속 저저항 캐소드를 형성하기 위해 구리 프탈로시아닌(CuPc) 등의 유기 물질 상에, 또는 고도로 효율적인 저저항 금속/비금속 화합물 캐소드를 형성하기 위해 얇은 Mg:Ag층 상에, ITO층을 스퍼터 증착하는 단계를 포함하는 제조 프로세스에서 준비된다.

본 명세서에서, 용어 "캐소드"는 이하의 방식으로 사용된다. 주위 조사 하에 있고 저항성 부하에 연결되어 있으며 또 외부 인가 전압이 없는, 비적층형 PV 장치 또는 적층형 PV 장치의 단일 유닛에서, 예를 들어 PV 장치에서, 전자는 광전도 물질

로부터 캐소드로 이동한다. 이와 유사하게, 용어 "애노드"는, 조명 하에 있는 PV 장치에서 정공이 광전도 물질로부터 애노드로 이동하도록 하는 방식으로(이는 정반대 방식으로 전자가 이동하는 것과 동등함), 본 명세서에서 사용된다. 유의할 점은, 이 용어들이 본 명세서에서 사용되는 바와 같이, 애노드 및 캐소드는 전극 또는 전하 이동층일 수 있다는 것이다.

유기 감광성 장치는 여기된 상태, 즉 "엑시톤"(이는 후속적으로 전자와 정공으로 해리될 수 있음)을 형성하기 위해 광이 흡수되는 적어도 하나의 광활성 영역을 포함한다. 엑시톤의 해리는 일반적으로 엑셉터층과 도너층의 병치(juxtaposition)에 의해 형성된 헤테로접합에서 일어난다. 예를 들어, 도 1의 장치에서, "광활성 영역"은 도너층(125) 및 엑셉터층(130)을 포함할 수 있다.

엑셉터 물질은, 예를 들어, 퍼릴린, 나프탈렌, 풀러렌 또는 나노튜브로 이루어질 수 있다. 엑셉터 물질의 예는 3,4,9,10-퍼릴렌테트라카르복실릭 비스-벤지이미다졸(PTCBI)이다. 다른 대안으로서, 엑셉터층은 미국 특허 제6,580,027호(이는 그 전체 내용이 본 명세서에 참고 인용되어 있음)에 개시된 풀러렌 물질로 이루어져 있을 수 있다. 엑셉터층에 인접하여, 유기 도너 유형 물질의 층이 있다. 엑셉터층과 도너층의 경계는 내부적으로 발생된 전계를 생성할 수 있는 헤테로접합을 형성한다. 도너층에 대한 물질은 프탈로시아닌 또는 포르피린, 또는 이들의 유도체 또는 전이 금속 착물, 예컨대 구리 프탈로시아닌(CuPc)일 수 있다. 다른 적합한 엑셉터 및 도너 물질이 사용될 수 있다.

광활성 영역에 유기금속 물질을 사용함으로써, 이러한 물질을 혼입하고 있는 장치는 삼중상태 엑시톤을 효율적으로 이용할 수 있다. 단일상태-삼중상태 혼합이 유기금속 화합물에 아주 강할 수 있고 또 흡수가 단일상태의 바닥 상태에서 직접 삼중상태의 여기 상태로의 여기를 수반하며, 이는 단일상태의 여기 상태에서 삼중상태의 여기 상태로의 변환과 연관된 손실을 제거하는 것으로 생각된다. 단일상태 엑시톤과 비교하여 삼중상태 엑시톤의 보다 긴 수명 및 확산 길이는 보다 두꺼운 광활성 영역의 사용을 가능하게 해주는데, 그 이유는 삼중상태 엑시톤이, 장치 효율을 희생시키지 않고, 도너-엑셉터 헤테로접합에 도달하기 위해 더 긴 거리를 확산할 수 있기 때문이다. 유기 금속 이외의 물질도 역시 사용될 수 있다.

본 발명의 양호한 실시양태에서, 적층형 유기층은 미국 특허 제6,097,147호, 문헌[Peumans et al., Applied Physics Letters 2000, 76, 2650-52], 및 1999년 11월 26일자로 출원된 동시 계류 중인 미국 특허 출원 연속 번호 제09/449,801호에 기술된 하나 이상의 엑시톤 차단층(EBL)을 포함하며, 이들 양자의 출원은 그 전체 내용이 본 명세서에 참고 인용되어 있다. 광발생된 엑시톤을 해리 계면 근방의 영역으로 제한하고 감광성 유기물/전극 계면에서의 기생(parasitic) 엑시톤 소광을 방지하기 위해 EBL을 포함시킴으로써 더 높은 내부 및 외부 양자 효율이 달성된다. 엑시톤이 확산할 수 있는 부피를 제한하는 것 이외에, EBL은 또한 전극의 증착 동안에 유입된 물질에 대한 확산 장벽으로서 작용할 수 있다. 일부 상황에서, EBL은, 달리 유기 PV 장치를 작동하지 않게 만들 수 있는, 핀홀 또는 단락 결함을 채우기에 충분하게 두껍게 만들어질 수 있다. 따라서 EBL은 부서지기 쉬운 유기층을, 전극이 유기 물질 상에 증착될 때 야기되는 손상으로부터 보호하는 데 도움이 될 수 있다.

엑시톤이 차단되고 있는 인접한 유기 반도체의 것보다 상당히 더 큰 LUMO-HOMO 에너지 갭을 갖는 것으로부터, EBL이 그의 엑시톤 차단 특성을 도출하는 것으로 생각된다. 따라서, 제한된 엑시톤은 에너지 문제로 인해 EBL에 존재하지 않게 된다. EBL이 엑시톤을 차단하는 것이 바람직하지만, EBL이 모든 전하를 차단하는 것은 바람직하지 않다. 그렇지만, 인접한 에너지 준위의 성질로 인해, EBL은 전하 캐리어의 한쪽 부호를 차단할 수 있다. 설계에 의해, EBL은 2개의 다른 층, 보통 유기 감광성 반도체층과 전극 또는 전하 이동층 사이에 존재한다. 인접한 전극 또는 전하 이동층은 정황상 캐소드 또는 애노드일 수 있다. 따라서, 장치의 주어진 위치에서의 EBL에 대한 물질은 원하는 캐리어의 부호가 전극 또는 전하 이동층으로의 그 수송에 방해되지 않도록 선택된다. 적당한 에너지 준위 정렬이 전하 수송에 대한 장벽이 존재하지 않게 해주며, 이는 직렬 저항의 증가를 방지한다. 예를 들어, 캐소드 측면 EBL로서 사용되는 물질은, 전자에 대한 원하지 않는 장벽이 최소화되도록, 인접한 ETL 물질의 LUMO 에너지 준위와 거의 일치하는 LUMO 에너지 준위를 갖는 것이 바람직하다.

물질의 엑시톤 차단 특성이 그의 HOMO-LUMO 에너지 갭의 고유 특성이 아님을 잘 알 것이다. 주어진 물질이 엑시톤 블록커(exciton blocker)로서 작용하는지 여부는 인접한 유기 감광성 물질의 상대적 HOMO 및 LUMO 에너지 준위에 의존한다. 따라서, 고립되어 있는 한 부류의 화합물을, 이들이 사용될 수 있는 장치 상황과 상관없이, 엑시톤 블록커로서 식별하는 것이 가능하지 않다. 그렇지만, 본 명세서의 개시 내용으로, 당업자라면 주어진 물질이 유기 PV 장치를 제작하기 위해 선택된 일련의 물질과 함께 사용될 때 엑시톤 차단층으로서 기능하는지 여부를 알 수 있다.

본 발명의 양호한 실시양태에서, EBL은 엑셉터층과 캐소드 사이에 위치하고 있다. EBL에 대한 양호한 물질은 2,9-디메틸-4,7-디페닐-1,10-페난트롤린(또한 바토쿠프로인(bathocuproine) 또는 BCP라고도 칭함)(이는 약 3.5 eV의 LUMO-

HOMO 에너지 준위 분리를 갖는 것으로 생각됨) 또는 비스(2-메틸-8-하이드록시퀴놀리노아토)-알루미늄(III)페놀레이트( $\text{Alq}_2\text{OPH}$ )를 포함한다. BCP는 엑셉터층으로부터 캐소드로 전자를 용이하게 수송할 수 있는 효과적인 엑시톤 블로커이다.

EBL층은, 3,4,9,10-퍼틸렌트라카르복실릭 디안하이드라이드(PTCDA), 3,4,9,10-퍼틸렌트라카르복실릭 디이미드(PTCDI), 3,4,9,10-퍼틸렌트라카르복실릭-비스-벤지미다졸(PTCBI), 1,4,5,8-나트탈렌테트라카르복실릭 디안하이드라이드(NTCDA), 및 이들의 유도체(이에 한정되는 것은 아님)를 비롯한 적당한 도펀트에 의해 도핑될 수 있다. 본 발명의 장치에서 증착되어 있는 바와 같이 BCP는 비정질인 것으로 생각된다. 본 발명의 외관상 비정질인 BCP 엑시톤 차단층은, 높은 광 세기 하에서 매우 신속한 막 재결정화(film recrystallization)를 나타낼 수 있다. 그 결과 얻어지는 다결정 물질에 대한 형태학적(morphology) 변화의 결과로, 단락, 공극 또는 전극 물질의 오목부(intrusion) 등의 가능한 결함을 갖는 보다 낮은 품질의 막이 얻어진다. 따라서, 적당한 비교적 크고 안정된 분자로 이러한 효과를 나타내는 BCP 등의 일부 EBL 물질의 도핑은 성능을 열화시키는 형태학적 변화를 방지하기 위해 EBL 구조를 안정화시킬 수 있는 것으로 밝혀졌다. 또한, EBL의 것에 가까운 LUMO 에너지 준위를 갖는 물질로 주어진 장치에서 전자를 수송하고 있는 EBL를 도핑하는 것은 공간 전하 중대를 야기하고 성능을 떨어뜨릴 수 있는 전자 트랩(electron trap)이 형성되지 않도록 하는 데 도움이 된다는 것을 잘 알 것이다. 게다가, 비교적 낮은 도핑 밀도가 고립된 도펀트 사이트(isolated dopant site)에서의 엑시톤 발생을 최소화시킨다는 것을 잘 알 것이다. 이러한 엑시톤이 주위의 EBL 물질에 의해 확산되는 것을 효과적으로 방지하기 때문에, 이러한 흡수가 장치 광변환 효율을 떨어뜨린다.

대표적인 실시양태는 또한 투명한 전하 이동층 또는 전하 재결합층을 포함할 수 있다. 본 명세서에 기술되는 바와 같이, 전하 이동층은, 전하 이동층이 종종 무기물(종종 금속임)이고(그렇지만 꼭 그럴 필요는 없음) 또 이들이 광전도적으로 활성이 아니도록 선택될 수 있다는 사실에 의해, 엑셉터층 및 도너층과 구별된다. 용어 "전하 이동층(charge transfer layer)"은, 전하 이동층이 단지 전하 캐리어를 광전 장치의 한 서브섹션에서 인접한 서브섹션으로 전달한다는 점에서, 본 명세서에서 전극과 유사하지만 그와 다른 층을 말하는 데 사용된다. 용어 "전하 재결합층(charge recombination layer)"은, 전하 재결합층이 탠덤 감광성 장치들 간의 전자 및 정공의 재결합을 가능하게 해주고 또 하나 이상의 활성층 근방에서의 내부 광학장 세기를 향상시킬 수 있다는 점에서, 본 명세서에서 전극과 유사하지만 그와 다른 층을 말하는 데 사용된다. 전하 재결합층은 미국 특허 제6,657,378호(이는 그 전체 내용이 본 명세서에 참고 인용되어 있음)에 기술된 바와 같이 반투명 금속 나노클러스터(nanocluster), 나노입자(nanoparticle) 또는 나노로드(nanorod)로 구성될 수 있다.

본 발명의 양호한 실시양태에서, 애노드-평탄화층은 애노드층과 도너층 사이에 위치하고 있다. 이 층에 대한 양호한 물질은 3,4-폴리에틸렌디옥시티오펜:폴리스티렌술포네이트(PEDOT:PSS)의 막을 포함한다. 애노드층(ITO)과 도너층(CuPc) 사이에 PEDOT:PSS층을 도입하면 크게 향상된 제조 수율이 달성될 수 있다. 이것은 스핀-코팅된 PEDOT:PSS 막이 ITO를 평탄화할 수 있는 것에 기인하며, ITO의 거친 표면은 달리 얇은 분자층을 통해 단락을 일으킬 수 있다.

본 발명의 다른 실시양태에서, 이들 층 중 하나 이상은 그 다음 층을 증착하기 이전에 플라즈마로 처리될 수 있다. 이들 층은, 예를 들어, 온화한(mild) 아르곤 또는 산소 플라즈마로 처리될 수 있다. 이 처리가 유익한데, 그 이유는 이 처리가 직렬 저항을 감소시키기 때문이다. 그 다음 층의 증착 이전에 PEDOT:PSS 층은 온화한 플라즈마 처리로 수행하는 이 특히 유익하다.

도 1에 예시된 간단한 층상화 구조는 비제한적인 예로서 제공된 것이며, 본 발명의 실시양태들이 광범위한 다른 구조와 관련하여 사용될 수 있다는 것을 잘 알 것이다. 기술된 특성의 물질 및 구조는 사실상 예시적인 것이며, 다른 물질 및 구조가 사용될 수 있다. 서로 다른 방식으로 기술된 여러가지 층들을 조합함으로써 여러 기능 장치가 달성될 수 있거나, 설계, 성능 또는 비용 인자에 기초하여, 층들이 완전히 생략될 수 있다. 구체적으로 기술되어 있지 않은 다른 층들도 역시 포함될 수 있다. 구체적으로 기술된 것 이외의 물질들이 사용될 수 있다. 본 명세서에 제공된 예들 중 다수는 여러가지 층들이 단일의 물질을 포함하는 것으로 기술하고 있지만, 호스트와 도펀트의 혼합물, 보다 일반적으로 혼합물 등의 물질의 조합물이 사용될 수 있다는 것을 잘 알 것이다. 또한, 이 층들은 여러가지 서브층을 가질 수 있다. 본 명세서에서 여러가지 층들에 주어진 명칭은 엄격하게 말하면 제한하려는 것이 아니다. 광활성 영역의 일부가 아닌 유기층, 즉 광전류에 상당한 기여를 하는 광자를 일반적으로 흡수하지 않는 유기층은 "비광활성층"이라고 말할 수 있다. 비광활성층의 예는 EBL 및 애노드-평탄화층을 포함한다. 다른 유형의 비광활성층도 역시 사용될 수 있다.

감광성 장치의 광활성층에 사용하기 위한 양호한 유기 물질은 사이클로금속화된 유기금속 화합물(cyclometallated organometallic compound)을 포함한다. 용어 "유기금속"은, 본 명세서에서 사용되는 바와 같이, 일반적으로 당업자에 의해 일반적으로 이해되는 것과 같으며 또한, 예를 들어, 문헌[Gary L. Messier and Donald A. Tarr, "Inorganic Chemistry"(2nd Edition), Prentice Hall(1998)]에 주어진 바와 같다. 따라서, 용어 "유기금속"은 탄소-금속 결합을 통해

금속에 결합된 유기 기(organic group)를 갖는 화합물을 말한다. 이 부류는 헤테로원자로부터 유래한 도너 결합(donor bond)만을 갖는 물질인 그 자체 배위 화합물, 예컨대 아민, 할라이드, 슈도할라이드(CN 등), 기타의 금속 착물을 포함하지 않는다. 실제로, 유기금속 화합물은 일반적으로, 유기 화학종(organic species)에 대한 하나 이상의 탄소-금속 결합 이외에, 헤테로원자로부터 유래한 하나 이상의 도너 결합을 포함한다. 유기 화학종에 대한 탄소-금속 결합은 페닐, 알킬, 알케닐, 기타의 유기 기의 탄소 원자와 금속 간의 직접 결합을 말하지만, CN 또는 CO와 같은 "무기 탄소"에 대한 금속 결합을 말하지는 않는다. 용어 "사이클로금속화(cyclometallated)"은, 금속에 대한 결합 시에 고리 구성원 중 하나로서 금속을 포함하는 고리 구조가 형성되도록, 2자리 유기금속 리간드(bidentate organometallic ligand)를 포함하는 화합물을 말한다.

유기층은 진공 증착, 스핀 코팅, 유기 기상 증착, 잉크젯 인쇄 및 기술 분야에 공지된 다른 방법을 사용하여 제조될 수 있다.

유기 감광성 광전 장치는 PV, 광검출기, 또는 광전도체로서 기능할 수 있다. 본 발명의 유기 감광성 광전 장치가 PV 장치로서 기능할 때마다, 광전도성 유기층에서 사용되는 물질 및 그의 두께는, 예를 들어, 그 장치의 외부 양자 효율을 최적화하도록 선택될 수 있다. 본 발명의 유기 감광성 광전 장치가 광검출기 또는 광전도체로서 기능할 때마다, 광전도성 유기층에 사용되는 물질 및 그의 두께는, 예를 들어, 원하는 스펙트럼 영역에 대한 장치의 감도를 최대화하도록 선택될 수 있다.

이 결과는 층 두께의 선택에서 사용될 수 있는 몇가지 가이드라인을 고려함으로써 달성될 수 있다. 엑시톤 확산 길이( $L_D$ )가 층 두께(L)보다 크거나 그와 필적한 것이 바람직하는데, 그 이유는 대부분의 엑시톤 해리가 계면에서 일어나는 것으로 생각되기 때문이다.  $L_D$ 가 L보다 작은 경우, 많은 엑시톤이 해리 이전에 재결합될 수 있다. PV 장치에 입사하는 방사의 거의 전부가 흡수되어 엑시톤을 생성하도록, 광전도성 층의 총 두께가 전자기 방사선 흡수 길이  $1/\alpha$  (여기서,  $\alpha$ 는 흡수 계수임) 정도인 것이 더욱 바람직하다. 게다가, 광전도성 층 두께는, 유기 반도체의 높은 벌크 고유저항(bulk resistivity)으로 인한 과도한 직렬 저항을 회피하기 위해, 가능한 한 얇아야 한다.

따라서, 이들 경쟁하는 가이드라인은 본질적으로 감광성 광전 전지의 광전도성 유기층의 두께를 선택함에 있어서 트레이드오프가 행해질 필요가 있다. 따라서, 한편으로, 최대량의 입사 방사선을 흡수하기 위해 흡수 길이에 필적하거나 그보다 큰 두께가 바람직하다(단일 전지 장치의 경우). 또다른 한편으로는, 광전도성 층 두께가 증가함에 따라, 2가지 바람직하지 않은 효과가 증대된다. 한가지는, 유기 반도체의 높은 직렬 저항으로 인해, 증가된 유기층 두께가 장치 저항을 증가시키고 효율을 저하시킨다는 것이다. 또하나의 바람직하지 않은 효과는 광전도성 층 두께를 증가시키면 전하-분리 계면에서의 유효장(effective field)에서 멀리 떨어져 엑시톤이 발생될 가능성이 증가하며, 그 결과 제짝 재결합(geminate recombination)의 확률이 증가되고, 다시 말하면 효율이 감소된다는 것이다. 따라서, 전체적인 장치에 대해 높은 외부 양자 효율을 생성하는 방식으로 이들 경쟁하는 효과들 간에 균형을 이루는 장치 구성이 바람직하다.

본 발명의 유기 감광성 광전 장치는 광검출기로서 기능할 수 있다. 이 실시양태에서, 이 장치는, 예를 들어, 2003년 11월 26일자로 출원된 미국 특허 출원 제10/723,953호(이는 그 전체 내용이 본 명세서에 참고 인용되어 있음)에 기재된 다층 유기 장치일 수 있다. 이 경우에, 외부 전계는 일반적으로 분리된 전하의 추출을 용이하게 해주기 위해 인가될 수 있다.

유기 감광성 광전 장치의 효율을 증가시키기 위해 콘센트레이터(concentrator) 또는 트랩핑(trapping) 구성이 이용될 수 있으며, 여기서 광자는 어쩔 수 없이 얇은 흡수 영역을 여러번 통과해야만 한다. 미국 특허 제6,333,458호 및 제6,440,769호(이는 그 전체 내용이 본 명세서에 참고 인용되어 있음)는 높은 흡수를 위해 또 수집 효율을 향상시키는 광학 콘센트레이터와 함께 사용하기 위해 광학적 기하구조를 최적화함으로써 감광성 광전 장치의 광 변환 효율을 향상시키는 구조상의 설계를 사용함으로써 이 문제를 해결한다. 감광성 장치에 대한 이러한 기하구조는, 반사 캐비티(reflective cavity) 또는 도파 구조(waveguiding structure) 내에 입사 방사선을 트랩핑하고 이로써 광반응성 물질을 통해 여러번 반사시켜 광을 재순환시킴으로써, 물질을 통한 광 경로를 실질적으로 증가시킨다. 따라서, 미국 특허 제6,333,458호 및 제6,440,769호에 개시된 기하구조는, 벌크 저항을 실질적으로 증가시키지 않고, 장치의 외부 양자 효율을 향상시킨다. 이러한 장치의 기하구조에는 제1 반사층, 광 마이크로캐비티 간섭 효과(optical microcavity interference effect)를 방지하기 위해 모든 차원에서 입사광의 광 코히런스 길이(optical coherence length)보다 더 길어야만 하는 투명한 절연층, 이 투명한 절연층에 인접한 투명한 제1 전극층; 이 투명한 전극에 인접한 감광성 헤테로구조; 및 역시 반사성이 있는 제2 전극이 포함되어 있다.

광학 에너지를 장치의 원하는 영역에 집중시키기 위해 코팅이 사용될 수 있다. 미국 특허 출원 제10/857,747호(이는 그 전체 내용이 본 명세서에 참고 인용되어 있음)는 이러한 코팅의 예를 제공한다.

유기 전지의 전력 변환 효율( $\eta_P$ )은 새로운 물질의 사용 및 신규한 장치 구조의 도입을 통해 향상될 수 있다. 유기 전지의 효율은 긴 엑시톤 확산 길이( $L_D \approx 400\text{\AA}$ )를 갖는 엑셉터 물질( $C_{60}$ )을 사용함으로써, 또는 벌크 헤테로접합 구조를 형성함으로써 향상될 수 있으며, 여기서 도너 및 엑셉터 물질의 상호침투 망상체(interpenetrating network)는 엑시톤이 근방의 "국소" D-A 계면까지 확산할 확율을 높인다. 본 발명의 일 실시양태는, 균일 도너층 및 엑셉터층 사이에 삽입되어 있는 혼합된 D-A 층으로 이루어지고, 하이브리드 평면-혼합된 헤테로접합(planar-mixed heterojunction: PM-HJ)을 포함하는 구리 프탈로시아닌(CuPc)/ $C_{60}$  유기 전지를 제공한다. 이 장치는 시뮬레이션된 AM1.5G 태양 조명 하에서  $\eta_P = 5\%$ 를 나타낸다.

2개 이상의 전지를 직렬로 적층하는 공정은 전지의 개방-회로 전압( $V_{OC}$ )을 증가시키면서 더 많은 광자를 수확하는 한가지 방법이다. 문헌[A. Yakimov and S. R. Forrest, Appl. Phys. Lett. 80, 1667 (2002)]에 기술한 바와 같이, 2개의 얇은 전지를 직렬로 적층함으로써,  $\eta_P = 1\%$ 에서  $\eta_P = 2.5\%$ 으로 개개의 CuPc/PTCBI 전지 효율이 2배 이상으로 됨을 입증해 보여주었으며, 동시에 서브전지 사이의 Ag 나노클러스터는 광발생된 전하에 대한 효율적인 재결합 사이트 및 광학장 향상을 제공한다. 이 "탠덤(tandem)" 전지의 광전압은 각각의 개별적인 전지(또는 서브전지)의 2배일 수 있다. 본 발명의 일 실시양태는 2개의 CuPc/ $C_{60}$  하이브리드 PM-HJ 전지를 직렬로 포함하고 있으며, 각각의 전지는 CuPc와  $C_{60}$ 을 서로 다른 비율로 가지고 있다. 이러한 구성의 결과 1 태양 =  $100\text{ mW/cm}^2$  시뮬레이션된 AM1.5G 태양 조명 하에서  $\eta_P = (5.7 \pm 0.3)\%$ 가 얻어지며, 이는 단일의 하이브리드 PM-HJ 전지보다  $\sim 15\%$  증가를 나타낸다. 또한, 탠덤 전지의  $V_{OC}$ 는 단일의 PV 전지의 것보다 더 크며, 높은 세기 조명 하에서 약 1.2V에까지 이른다. 본 발명의 일 실시양태는 하이브리드 평면-혼합된 이중 헤테로접합 구조에서 CuPc와  $C_{60}$ 의 아주 효율적인 물질 조합을 이용한다. 기관 상에 반사 방지 코팅을 포함하지 않고, 이러한 유형의 탠덤 구조를 사용하여 6.5%의 태양 전력 변환 효율을 갖는 유기 PV 전지가 가능하다.

2-서브전지 CuPc/PTCBI 탠덤 전지는 이 2개의 서브전지 각각으로부터의 대칭적인 스펙트럼 응답을 갖는다. 입사광과 금속 캐소드로부터 반사된 광 간의 광학적 간섭으로 인해, 유기물/캐소드 계면으로부터  $\lambda/4$ 의 수직 광 경로 길이에서 최대 광 세기가 얻어지며, 여기서  $\lambda$ 는 입사광 파장이다. 본 명세서에서 사용되는 바와 같이, "수직 광 경로 길이"는, 장치의 표면에 대해 수직으로 측정되고 광이 지나간 경로에 걸쳐 적분된, 거리/n을 말하며, 여기서 n은 물질의 굴절율로서 물질 내에서 변할 수 있다. 따라서, 전방 전지에는 긴-파장 흡수 분자가 농후하고 후방 전지에는 짧은-파장 흡수 분자가 농후한 "비대칭" 탠덤 전지는 각각의 서브전지에서 CuPc와  $C_{60}$ 의 동일 혼합물을 갖는 달리 동등한 탠덤 전지보다 더 많은 입사광을 흡수할 수 있다. 예를 들어, CuPc가  $\lambda=550\text{nm}$ 와  $750\text{nm}$  사이를 흡수하고  $C_{60}$ 이  $\lambda=350\text{nm}$ 와  $550\text{nm}$  사이를 흡수하는 경우, 비대칭 CuPc/ $C_{60}$  하이브리드 PM-HJ 탠덤 전지는 후방 전지보다 균일한 더 두꺼운 CuPc 층 및 더 얇은  $C_{60}$  층을 갖는 전방 전지를 포함할 수 있다. 균일층에서의 짧은 엑시톤 확산 길이 및 혼합층에서의 낮은 전하 이동도로 인해, 2개의 서브전지에서의 광전류가 균형을 이루도록 하기 위해 균일층 두께와 혼합층 두께 간의 트레이드오프도 역시 사용될 수 있다.

CuPc/ $C_{60}$  하이브리드 PM-HJ 탠덤 전지의 효율은 서브전지  $i(i=1, 2$ 는 각각 전방 전지 및 후방 전지를 나타냄)의 전류 밀도 특성 대 전압( $J$ - $V$ ) 특성을 수학적 식 1에 따라 모델링함으로써 최대화될 수 있다.

$$J_i(V_i) = J_{d,i}(V_i) + J_{ph,i}(V_i) = J_{s,i} \left\{ \exp \left[ \frac{q(V_i - J_i R_{S,i})}{n_i kT} \right] - 1 \right\} + J_{ph,i}^0 \eta_{CC,i}(V_i)$$

여기서,  $J_{d,i}$  및  $J_{ph,i}$ 는 각각 암전류(dark current) 밀도 및 광전류(photo current) 밀도이며,  $J_{s,i}$ 는 역바이어스 포화 전류이고,  $n_i$ 는 이상 인자(ideality factor)이며,  $R_{S,i}$ 는 전지 직렬 저항이고, q는 전자 전하이며, k는 볼츠만 상수이고, T는 온도이다. 광학적 간섭 및 엑시톤 확산 둘다를 고려하는 모델을 이용하면, 입사 광 전력 밀도  $P_0$  하에서의 광전류 밀도  $J_{ph,i}^0$ 가 획득될 수 있으며, 이는 모든 광발생 전하가 전극에서 수집되는 것으로 가정한 것이다. 이 가정은 혼합층을 갖는 전지에 대해 유효하지 않을 수 있으며, 혼합층에서 전하 캐리어 이동도는 혼합층 내에서의 광발생된 전하의 재결합을 유도하는 분자 상호혼합(molecular intermixing)으로 인해 균일층에서의 이동도보다 상당히 감소된다. 인가된 전압 V 및 혼합층 두께  $d_m$ 의 함수인 전하 수집 효율  $\eta_{CC}$  또는 전극에서 수집된 전하의 비율은 하기 수학적 식 2와 같다.

$$\eta_{cc}(V) = \frac{L_c(V)}{d_m} \left\{ 1 - \exp \left[ -\frac{d_m}{L_c(V)} \right] \right\}$$

여기서,  $L_c(V) = L_{c0}(V_{bi} - V)/V$  는 전하 수집 길이이고,  $L_{c0}$  는 상수이며,  $V_{bi}$  는 내부 전위이다.

$J_i = J_i(V_i)$  ( $i = 1, 2$ )인 경우, 탠덤 전지의 J-V 특성은  $J = J_1 = J_2$  및  $V = V_1 + V_2$ 의 요건으로부터 얻어지며, 이들로부터 PV 전지 성능 파라미터(단락-회로 전류  $J_{sc}$ , 개방-회로 전압  $V_{oc}$ ; 필 팩터 FF, 및 전력 변환 효율  $\eta_P$ )가 얻어진다.

하기 표 1은 3개의 탠덤 전지의 장치 구조를 제공한다. 하기 표 2는 이 모델에서 사용되는 파라미터 값을 요약한 것이다. 표 1을 참조하면, 전지 A는 주어진 비대칭 균일층 두께에 기초한 혼합층 두께를 가지며, 1 태양 AM1.5G 태양 조명 하에서  $\eta_P = 5.2\%$ 가 얻어진다. 전지 B에서의 광활성층 두께들의 조합은  $\eta_P = 5.9\%$ 의 더 높은 효율을 가져온다. 전방-전지 균일  $C_{60}$  층이 제거될 때 전방 전지에서의 PTCBI 층도 역시 광전류에 기여할 수 있으며, 따라서 혼합층에서의 CuPc 분자는 PTCBI와의 엑시톤 해리 계면을 형성할 수 있다. 이것으로 인해 전지 C에서 더 높은  $J_{sc}$  및 최대  $\eta_P = 6.5\%$ 가 얻어지는데, 그 이유는 PTCBI 흡수가 약  $\lambda = 550 \text{ nm}$ 에서 CuPc 흡수 영역과  $C_{60}$ 의 흡수 영역 간의 갭을 채우기 때문이다.

[표 1]

전지 라벨	전방 전지				후방 전지				$J_{sc}$ (mA/cm <sup>2</sup> )	$V_{oc}$ (V)	FF	$\eta_P$ (%)
	CuPc	CuPc:C <sub>60</sub>	C <sub>60</sub>	PTCBI	CuPc	CuPc:C <sub>60</sub>	C <sub>60</sub>	BCP				
A	100	180	20	50	20	130	250	75	9.4	1.03	0.54	5.2
B	75	125	80	50	60	130	160	75	9.7	1.03	0.59	5.9
C	90	110	0	50	50	100	210	100	10.3	1.04	0.61	6.5

[표 2]

$J_s$ (nA/cm <sup>2</sup> )	$R_s$ ( $\Omega \cdot \text{cm}^2$ )	n	$L_{c0}$ ( $\text{\AA}$ )	$V_{bi}$ (V)	$L_D$ ( $\text{\AA}$ )		
					CuPc	C <sub>60</sub>	PTCBI
35	0.25	1.6	400	0.65	80	400	30

본 발명의 일 실시양태에서, 광활성 영역은 2개의 전극 사이에 배치되어 있다. 본 발명의 양호한 실시양태에서, 광활성 영역은 미국 특허 출원 제10/822,774호(이는 그 전체 내용이 본 명세서에 참고 인용되어 있음)에 개시된 바와 같이 하이브리드 평면-혼합된 헤테로접합(PM-HJ) 장치를 포함한다.

도 2는 본 발명의 일 실시양태에 따른 유기 광활성 장치(200)를 나타낸 도면이다. 장치(200)는, 기관(210), 이 기관 위에 증착된 제1 전극(220), 제1(또는 전방) 유기 광활성 영역(230), 중간층(240), 제2(또는 "후방") 광활성 영역(250), 및 제2 전극(260)을 포함할 수 있다. 유기 광활성 영역(230, 250)은 유기 엑셉터 물질 및 유기 도너 물질을 포함한다. 본 발명의 양호한 실시양태에서, 제1 광활성 영역(230)은 미혼합된 유기 엑셉터 물질을 포함하는 제1 유기층(231); 미혼합된 유기 엑셉터층(231)의 유기 엑셉터 물질과 유기 도너 물질의 혼합물을 포함하는 제2 유기층(232); 제2 유기층(232)의 미혼합된 도너 물질을 포함하는 제3 유기층(233); 및 엑시톤 차단층(234)을 더 포함한다. 다른 양호한 실시양태에서, 엑셉터층(231, 251) 또는 도너층(233, 253)은 없을 수 있다. 본 발명의 다른 양호한 실시양태에서, 제2 광활성 영역(250)은 제1 광

활성 영역(230)과 유사한 배열의 유기 물질을 포함한다. 본 발명의 양호한 실시양태에서, 중간층(240)은 전하 재결합 구역을 포함한다. 다른 양호한 실시양태에서, 중간층(240)은 하나 이상의 전극을 포함할 수 있으며, 여기서 다수의 전극은 절연층에 의해 분리될 수 있다.

본 발명의 다른 양호한 실시양태에서, 유기층(232) 등의 혼합된 유기층에서의 유기 엑셉터 물질과 유기 도너 물질의 혼합물은 각각 중량 단위로 약 10:1 내지 약 1:10 범위의 비율로 행해질 수 있다. 일 실시양태에서, 엑셉터 물질과 도너 물질의 혼합물을 포함하는 유기층(유기층(232) 등), 및 엑셉터 물질 또는 도너 물질만을 포함하는 유기층(제2 유기층(231 또는 233) 등)이 존재할 수 있다.

증착된 캐소드에 인접하여 그에 접촉하고 있는 층에 EBL이 증착되어 있을 때, EBL이 손상될 수 있다. 이 손상이 전하 캐리어가 EBL을 가로질러 보다 용이하게 지나갈 수 있게 해주면서 엑시톤이 그렇게 하는 것을 여전히 방지한다는 점에서, 이 손상은 유익한 것으로 생각된다. 각각의 EBL의 LUMO가 인접한 엑셉터 물질의 LUMO보다 약 0.3 eV 이하 더 높도록 EBL 및 유기 엑셉터층에 대한 물질을 선택하면 유사한 결과를 가져오는 것으로 생각된다. 바람직한 전하 수송 특성을 얻기 위해, 따라서 엑셉터층에 인접하여 증착된 EBL이 (1) 광활성 영역에 의해 제2 전극과 분리되어 있지 않고/얇거나, (2) 인접하는 광활성 영역의 LUMO보다 약 0.3eV 이하 더 높은 LUMO를 갖는 것이 바람직하다. 특정의 EBL이 광활성 영역에 의해 제1 전극과 분리되어 있지 않아서 EBL이 제2 전극의 증착 동안에 손상되는 경우, EBL과 엑셉터 간의 LUMO 차이가 덜 중요하고, EBL 물질을 선택하는 데 사용되는 기준이 LUMO 이외의 인자들에 대해 더 가중될 수 있다.

장치의 양호한 실시양태에서, 제2 엑시톤 차단층(254)은 제1 엑시톤 차단층(234)와 다른 물질을 포함한다. 엑시톤 차단층(254)이 광활성 영역에 의해 제2 전극과 분리되어 있지 않기 때문에, 보다 폭넓은 물질의 선택이 이용가능할 수 있다. 엑시톤 차단층(254)의 물질은 유기 엑셉터 물질(253)의 LUMO보다 약 0.3eV 이하 더 큰 LUMO를 가질 수 있거나, 더 큰 LUMO를 가질 수 있으며, 전하 수송은 제2 전극(260)의 증착에 의해 야기되는 손상으로 인해 여전히 양호할 수 있다. 엑시톤 차단층(254)에 대한 양호한 물질은 BCP를 포함하며, 엑시톤 차단층(234)에 대한 양호한 물질은 PTCBI를 포함한다.

본 발명의 다른 실시양태에서, 유기 전지(200)는 중간층(240)을 더 포함한다. 중간층(240)은 전하 재결합 구역을 포함할 수 있다. 본 발명의 양호한 실시양태에서, 전하 재결합 구역은 m-MTDATA:F<sub>4</sub>-TCNQ 또는 BTQBT:PTCDA 등의 p-도핑된 유기 물질을 포함하고, 전하 재결합 구역은 나노입자(241)를 더 포함한다. 나노입자가 Ag 또는 다른 금속 또는 금속성 물질을 포함하는 것이 특히 바람직하다. 다른 물질이 사용될 수 있다.

탠덤 전지에서, 각각의 서브전지에서 서로 다른 엑셉터 및 도너 물질을 사용하거나, 또는 동일한 엑셉터 및 도너 물질을 서로 다른 비율로 사용하는 것이 유익할 수 있다. 서로 다른 물질을 사용하거나 동일 물질을 서로 다른 비율로 사용하는 것은 전지가 각각의 서브전지에서 동일 물질을 동일 비율로 사용되는 경우 보다 넓은 범위의 파장에서 광을 흡수할 수 있게 해 줄 수 있다. 본 발명의 양호한 실시양태에서, 유기 영역(230, 250)은 서로 다른 엑셉터 및 도너 물질을 포함한다. 유기 영역(230, 250)은 또한 동일한 엑셉터 및 도너 물질을 포함하며, 여기서 혼합된 유기층(232, 252)은 엑셉터 및 도너 물질을 서로 다른 비율로 포함한다. 유기 영역(230, 250)의 유기 엑셉터 물질은 C<sub>60</sub>일 수 있다. 광활성 영역(230, 250)의 유기 도너 물질은 CuPc일 수 있다. 다른 적당한 유기 도너 물질로는 납 프탈로시아닌(PbPc), 금속 함유 포르피린, 금속 무함유 포르피린, 루브렌, 금속 함유 프탈로시아닌, 금속 무함유 프탈로시아닌, 디아민(NPD 등), 및 나프탈로시아닌을 비롯한 이들의 작용화된 변형물이 포함된다. 다른 적당한 유기 엑셉터 물질로는 PTCBI, C<sub>70</sub>, 풀러렌, 퍼릴렌, (안트라센, 나프탈렌, 테트라센, 및 펜타센을 비롯한) 선형 폴리아센(linear polyacene)과 같은 카타콘덴세이션 처리된 공역 분자 시스템(catacondensed conjugated molecular system), 피렌, 코로넨, 및 이들의 작용화된 변형물이 포함된다. 이 목록은 포괄적인 것을 의미하지 않으며, 다른 적당한 엑셉터 및 도너 물질이 사용될 수 있다.

본 발명의 특히 양호한 실시양태에서, 애노드는 유리 기판 상에 투명한 전도성 ITO층을 포함하고, 캐소드는 1000Å 두께의 열적으로 증발된 Ag 전극을 포함한다. 각각의 서브전지의 광활성 영역은 하이브리드 PM-HJ, 즉 균일한 CuPc 층과 C<sub>60</sub> 층 사이에 배치되어 있는 혼합된 CuPc:C<sub>60</sub> 층을 포함하며, 이는 균일층들 간의 평면 HJ의 이점(광발생된 전하 캐리어의 그 각각의 전극으로의 양호한 수송)과 혼합층의 이점(높은 엑시톤 확산 효율)을 조합한 것이다. 3,4,9,10- 퍼릴렌테트라카르복실릭 비스-벤지미다졸(PTCBI) 및 바토쿠프로인(BCP)의 얇은 층이 전방 서브전지(ITO에 가장 가까움) 및 후방 서브전지(캐소드에 가장 가까움)에서 엑시톤 차단층(exciton-blocking layer(EBL)으로서 각각 사용되며, 이로써 고효율 이중 헤테로접합 PV 구조를 형성한다. 전방 전지에서 발생된 전자 및 후방 전지에서 발생된 정공에 대한 전하 재결합 구역은 서브전지들 사이에 배치되어 있다. 이 재결합 중심은, 5 mol% 테트라플루오로-테트라시아노-퀴노디메탄(F<sub>4</sub>-TCNQ)

로 p-도핑된 50Å 두께의 4,4',4"-트리스(3-메틸-페닐-페닐-아미노)트리페닐아민(m-MTDATA)에 증착된, 초박막 (~5Å 평균 두께) 층에 증착된 Ag 나노클러스터를 포함한다. 장치 제조 절차 및 특성화 방법은 기술 분야에 공지되어 있는 것일 수 있다.

본 명세서에 기술된 실시양태들이 단지 예시적인 것이며 또 다른 실시양태들이 본 발명에 따라 사용될 수 있다는 것을 잘 알 것이다. 예를 들어, 예시된 층들의 순서는 변경될 수 있다. 예를 들어, 유기층(230, 250)의 위치는, 차단층의 적절한 재 배치 등에 의해, 전환될 수 있다. 차단층, 전하 재결합층, 기타와 같은 부가의 층들이 또한 존재하거나 존재하지 않을 수 있다. 예를 들어, 차단층이 제거될 수 있고/있거나, 부가의 차단층이 존재할 수 있다. 비유기 영역이 존재할 수 있고, 반사층에 상대적인 유기 영역의 위치를 조정하는 데 사용될 수 있다. 구체적으로 기술된 것과 다른 물질이 사용될 수 있다. 예를 들어, 장치가 어느 정도 투명할 수 있도록 모든 전극이 ITO인 장치가 제조될 수 있다. 게다가, 증착된 마지막 전극이 지지 표면에 가장 가깝도록, 장치가 기판 상에 제조되고 이어서 지지 표면 상에 부착될 수 있다. 엑셉터층 및 도너층이 존재하지 않을 수 있다. 예를 들어, 도너층 또는 엑셉터층(231, 251, 233, 253)이 존재하지 않을 수 있다. 많은 실시양태가 태양 전지와 관련하여 기술되어 있지만, 다른 실시양태들은 광검출기 등의 다른 유형의 장치에서 사용될 수 있다.

층이 "미혼합된" 엑셉터 또는 도너층으로 기술되어 있는 경우, 그 "미혼합된" 층은 아주 적은 양의 정반대 물질을 불순물로서 포함할 수 있다. 농도가 층에서의 침투(percolation)에 필요한 양보다 상당히 낮은 경우, 즉 약 5 중량%보다 작은 경우, 물질은 불순물로서 생각될 수 있다. 양호하게는, 임의의 불순물은, 1 중량% 미만 또는 가장 양호하게는 약 0.1 중량% 미만 등의 훨씬 더 적은 양으로 존재한다. 장치를 제조하는 데 사용되는 프로세스 및 프로세스 파라미터에 따라, 바로 인접하는 층에서의 물질의 일부 불순물은 피할 수 없을 수 있다.

유기 물질은 특정의 파장에서 최대값을 갖는 흡수 스펙트럼을 가질 수 있다. 본 명세서에서 사용되는 바와 같이, 용어 "특성 흡수 파장"은 물질의 흡수 스펙트럼이 최대값을 갖는 파장을 말한다.

장치(200)는 적어도 하나의 반사층을 포함할 수 있다. 본 발명의 일 실시양태에서, 제2 전극(260)은 반사층이다. 별도의 반사층, 또는 기판 또는 제1 전극이 반사층인 상부 방출(또는 흡수) 장치를 사용하는 것과 같은 다른 구성들이 이용될 수 있다. "반사"층은 금속층일 수 있거나, 비주기적 또는 주기적 유전체 적층 등의 반사하는 다른 유형의 층일 수 있다. 반사층의 사용에 의해, 반사층에 수직인 방향에서 파장 및 위치에 따라 광학장 세기가 변한다. 임의의 주어진 파장에서, 광학장 세기의 최대값은 위치의 함수이다. 예를 들어, 도 3을 참조하기 바란다. 감광성 장치의 경우, 그 파장에 대해 위치의 함수인 최대값을 갖는 위치가 광활성 영역 내에 또는 그 근방에 위치하도록, 특정의 특성 흡수 파장을 갖는 광활성 영역을 위치시키는 것이 바람직하다. 다수의 물질을 갖는 광활성 영역의 경우, 특성 흡수 파장은 전체 영역의 흡수 스펙트럼의 최대값에 기초한다. "근방"이란, 예를 들어, 문제의 광활성 영역으로부터 약  $0.05\lambda/n$  (여기서, n은 최대값이 발생하는 물질의 굴절률임) 이하인 거리에 있는 것을 의미할 수 있다. 양호하게는, 최대값은 광활성 영역 내에 배치된다. 이러한 방식으로 광활성 영역을 위치시키는 것에 의해 향상된 흡수가 얻어질 수 있다. 일부 응용에서, 상당히 서로 다른 특성 흡수 파장을 갖는 광 흡수 영역을 사용하는 것이 바람직하다. 이러한 차이는 보다 광범위한 파장의 흡수를 가능하게 해줄 수 있다. 본 발명의 일 실시양태에서, 유기 영역(250, 230)은 각각  $\lambda_1$  및  $\lambda_2$ 에서 특성 흡수 파장을 갖는다.  $\lambda_1$ 이  $\lambda_2$ 와 적어도 약 10% 다른 것이 바람직하다. 특성 흡수 파장은 "서로 다른" 흡수 스펙트럼을 정량화하는 유일한 한가지 방식이다. 서로 다른 흡수 스펙트럼을 정량화하는 다른 방식은 한 광활성 영역의 상위 3개의 흡수 피크 중 적어도 하나의 파장이 다른 광활성 영역의 상위 3개의 흡수 피크의 파장 모두와 적어도 10% 다른 것이다. 서로 다른 흡수 스펙트럼을 정량화하는 또다른 방식은 2개의 정규화된 스펙트럼을 서로 중첩시켜, 중복하는 면적을 측정하는 것이다. 이 중복 면적이 스펙트럼 중 하나의 총 면적의 80% 이하인 경우, 그 스펙트럼은 상당히 서로 다른 것으로 간주될 수 있다. 예를 들어, 2개의 물질이 유사한 특성 흡수 파장을 가질 수 있지만, 상당히 서로 다르며 아마도 입사광의 광범위한 스펙트럼을 흡수하기 위해 상보적인 다른 특징(서브피크 등)을 가질 수 있다. 이러한 실시양태는 본 발명의 일부 양태의 범위 내에 속하는 것으로 보아야 한다.

많은 광활성 물질(및 다수의 물질을 갖는 광활성 영역의 경우, 물질들의 조합물)은 복수의 흡수 피크를 가질 수 있다. 광의 특정의 파장을 강하게 흡수하는 광활성 영역은 그 파장에 대한 광학장 세기가 강한 위치에 배치될 수 있다. 일 실시양태에서, 광활성 영역의 흡수 스펙트럼에서의 국소 피크는 광활성 영역에 대한 바람직한 위치를 결정하는 데 사용된다. 광활성 영역은 광활성 영역이 국소 최대값을 갖는 파장에 대한 광학장 세기에서의 최대값에 또는 그 근방에 위치될 수 있다. 태양 스펙트럼의 흡수를 목적으로 하는 장치의 경우, 350 nm 내지 1300 nm의 파장이 더 중요할 수 있다. 일반적으로 말하면, 광활성 영역이 그 파장에 대한 강한 흡수체인 경우, 특정의 파장에서 또는 파장 범위에서 광학장 세기의 중복을 증가 또는 최대화시키는 것이 바람직하다. 이것을 달성하는 한가지 방식은 광활성 영역의 흡수와 광학장 세기(둘다 파장의 함수임) 간의 더 많은 중복이 있는 위치쪽으로 광활성 영역의 위치를 조절하는 것이다. 다른 방식은, 광활성 영역의 위치에서 흡수 스펙트럼과 광학장 세기(둘다 파장의 함수임) 간의 더 많은 중복을 달성하기 위해, 그 영역 내의 물질을 변경하거나, 또는 물질의 비율을 변경함으로써 광활성 영역의 흡수 특성을 변경하는 것이다.

이러한 일치를 기술하는 한가지 방식은 광활성 영역에 대한 상위 3개의 흡수 피크의 파장을 결정하고, 이들 3개의 파장 중 하나에 대한 광학장 세기의 피크가 광활성 영역에 또는 광활성 영역에서  $.05\lambda/n$  (여기서,  $\lambda$ 는 광학장 세기의 최대값과 일치하는 피크의 파장이고,  $n$ 은 광학장 세기의 피크가 위치하는 층의 굴절율임) 내에 있도록, 광활성 영역을 위치시키는 것이다. 이러한 일치를 기술하는 다른 방식은 광활성 영역(들)의 흡수 피크들 전부의 파장을 고려하는 것이다. 흡수 피크의 "파장"은 그 피크에 대한 흡수 스펙트럼의 국소 최대값이며, "상위 3개"의 피크는 3개의 가장 높은 국소 최대값을 갖는 피크이다. "상위" 파장 또는 파장들을 결정할 때, 일부 실시양태들에서 파장 범위가 제한될 수 있다. 예를 들어, 태양 스펙트럼을 흡수하기 위한 일부 장치의 경우, 고려되는 파장의 범위는 350-1300 nm로 제한될 수 있는데, 그 이유는 태양 스펙트럼의 사용가능한 에너지의 대부분이 이 범위 내에 있기 때문이지만, 태양 스펙트럼을 흡수하기 위한 실시양태를 비롯한 일부 실시양태들에서 더 넓은 범위도 역시 사용될 수 있다.

상기한 바와 같이 광활성 영역을 위치시키면 흡수되는 입사광의 양이 증가될 수 있다. 본 발명의 양호한 실시양태에서, 에너지가 흡수될 수 있도록 하는 흡수 특성을 갖는 광활성 영역에 총 입사 전계 세기의 적어도 약 10%, 보다 양호하게는 적어도 약 20%가 위치하도록, 광활성 영역의 물질 및 위치가 선택된다. 본 명세서에서 사용되는 바와 같이, "광학장 세기"는 영역에 걸쳐 전계의 제곱의 적분을 말한다. 따라서, 총 입사 전계 세기는 전체 장치에 걸쳐 전계의 제곱의 적분이고, 광활성 영역의 총 전계는 광활성 영역들 각각에 걸쳐 적분된 전계의 합이다. 따라서, 당업자라면 잘 아는 바와 같이, 영역(R)에 대해, 세기( $I_R$ )는 다음과 같이 계산된다.

$$I_R = \int_R |\vec{E}|^2$$

게다가, 각 점에서의 광학장 세기도 역시 파장의 함수이다. 장치의 광활성 영역에 걸친 위치의 함수인 적분, 즉 광활성 영역의 흡수 특성(위치 및 파장의 함수일 수 있음)과 광학장 세기(이도 역시 위치 및 파장 둘다의 함수일 수 있음)의 곱의 파장에 걸친 적분을 증가시키는 것이 바람직하다. 이 양을 총 광학장 세기로 나눈 것이 장치에 의해 흡수될 수 있는 광학장 세기의 백분율이며, 이것은 양호하게는 적어도 10%이고, 보다 양호하게는 적어도 20%이다. 흡수될 수 있는 광학장 세기의 백분율은, 예를 들어, 광의 특성의 파장의 양호한 흡수체인 물질을 선택하고 이들을 그 특성의 파장에 대한 광학장 세기가 큰 곳에 위치시킴으로써 증가될 수 있다. 이것에 의해 광활성 영역에 의한 흡수가 증가되고 따라서 장치의 효율이 향상되는 것으로 생각된다. 양호한 실시양태에서, 광학장 세기는 태양 스펙트럼에 기초한다. 유의할 점은 피크 일치가 상기한 바와 같이 10% 또는 20%를 달성하는 유일한 방식이 아닐 수 있다는 것이다. (피크가 있는지 여부에 상관없이) 특성의 파장에서 강한 흡수를 갖는 광활성 영역을 광학장 세기에서 그 파장에 대한 강한 값과 일치시키는 것이 이 목표를 달성하는 한가지 그러한 방식이다. 상기한 적분을 계산함으로써, 장치가 강한 흡수를 갖는지 여부를 판정하는 것이 가능하다.

많은 실시양태의 양호한 근사(approximation)인 단일의 반사층의 경우, 특성의 파장  $\lambda$ 에 대한 광학장 세기의 최대값은 반사층으로부터 광 경로 길이  $\lambda/4$  떨어져 있다. 따라서, 제1 광활성 영역(250)의 적어도 일부분이 제1 광활성 영역에 가장 가까운 반사층의 가장자리로부터 수직 광 경로 길이 약  $\lambda_1/4 \pm 25\%$ 에 배치되고 또 제2 광활성 영역(230)의 적어도 일부분이 제2 광활성 영역에 가장 가까운 반사층의 가장자리로부터 수직 광 경로 길이 약  $\lambda_2/4 \pm 25\%$ 에 배치되는 것이 보다 양호하며, 여기서  $\lambda_1$  및  $\lambda_2$ 는 제1 및 제2 광활성 영역이 강한 흡수체인 파장이다. "강한 흡수체"는 여러가지 방식으로 정량화될 수 있다. 일 실시양태에서, 제2 광활성 영역의 흡수 피크 중 적어도 하나의 파장은 제1 광활성 영역의 흡수 피크 중 적어도 하나의 파장보다 클 수 있다. 다른 실시양태에서, 제2 광활성 영역의 상위 3개의 흡수 피크 중 적어도 하나의 파장은 제1 광활성 영역의 상위 3개의 흡수 피크 중 적어도 하나의 파장보다 클 수 있다. 25% 경계치는, 강한 광학장 세기와 그 파장 및 근방의 파장에 대한 강한 흡수 간의 상당한 중복을 여전히 유지하면서, 흡수 피크의 파장이 광학장 세기의 최대값에서 얼마나 멀리 떨어져 있을 수 있는지의 척도이다. 보다 일반적으로, 유사한 광학장 세기 프로파일을 갖는 단일 반사층 및 구성의 경우에, 더 긴 파장 흡수 물질을 더 짧은 파장 흡수 물질보다 반사 표면으로부터 비례적으로 더 멀리 배치하는 것이 바람직하며, 여기에서 비례 상수는  $\lambda/n$ 이고,  $n$ 은 적층에서의 물질들의 굴절율이다.  $n$ 이 적층 전체에 걸쳐 변하는 경우, 적층을 구성하는 물질들의 공간적으로 가중된 평균 굴절율이 사용될 수 있다. 보다 복잡한 광학 구성에 대해, 당업자라면, 본 발명의 개시 내용의 이익을 이용하여, 광학장 세기의 최대값의 위치를 결정할 수 있을 것이다.

본 발명의 일 실시양태에서, 제1 전극과 제2 전극 사이에 배치된, 서로 다른 흡수 특성을 갖는 다수의 광활성 영역을 갖는 광활성 장치가 제공된다. 양호하게는, 흡수 특성은 서로를 보완하도록 선택되며, 그에 따라 하나의 광활성 영역은 제1 범위의 파장에서 우선적으로 흡수하고 제2 광활성 영역은 제1 범위와 다른 제2 범위의 파장에서 우선적으로 흡수한다.  $\lambda_1$ 과

$\lambda_2$ 가 적어도 10% 다른 경우, 파장  $\lambda_1$ 을 중심으로 한 파장의 범위는 또하나의 범위  $\lambda_2$ 와 상당히 다른 것으로 생각될 수 있다. "우선적으로"라는 것은, 광활성 영역이 그와 비교되는 다른 광활성 영역보다 강한 흡수재임을 의미한다. 특정 범위의 파장을 "우선적으로" 흡수하는 광활성 영역은 그 파장의 특히 강한 흡수재이거나 그 파장에서의 흡수 스펙트럼의 최대값을 가질 필요가 없지만, 이들 기준이 선호된다. 특정 범위의 파장에서의 "우선적인" 흡수는 단지 광활성 물질이 그와 비교되는 다른 광활성 물질보다 더 나은 흡수재임을 의미할 뿐이다.

2개의 서로 다른 광활성 영역이 특정 범위의 파장에 걸쳐 얼마나 잘 흡수하는지를 비교하기 위해, 문제의 범위에 걸친 "평균 흡수"는 유용한 양이다. 평균 흡수는 흡수 스펙트럼의 파장 범위에 걸친 적분을 범위의 폭으로 나눈 것이다. 서로 다른 위치에서 서로 다른 물질의 농도를 갖는 광활성 영역의 경우, 평균 흡수는 파장 및 위치 둘다의 함수일 수 있는 흡수 스펙트럼의 파장 및 위치 둘다에 걸친 적분을, 파장 범위의 폭 및 물질의 부피로 나눈 것일 수 있다. 평균 흡수는, 임의의 특정 파장에서의 흡수에 과도한 가중을 제공하지 않고, 그 범위 내에서 국소화된 피크 및 골(valley)을 고려하는 비교를 가능하게 해준다.  $\lambda \pm 5\%$ 의 범위에 걸친 평균 흡수는 장치를 설계하기 위한 유용한 표준(benchmark)을 제공한다.

2개의 영역에 대한  $\lambda \pm 5\%$  범위에 대한 평균 흡수가 적어도 5% 서로 다른 경우, 2개의 광활성 영역이 특정 파장  $\lambda$ 에 중심을 둔 범위에 걸쳐 상당히 서로 다른 흡수 특성을 갖는 것으로 생각될 수 있다. 평균 흡수의 더 작은 차이는 제조 프로세스에서의 부적절한 변동 또는 흡수 스펙트럼을 제어하는 것에 특별히 관계가 없는 다른 인자들의 결과일 수 있다.

특정의 광활성 영역이 특정 범위의 파장에서 흡수할 수 있는 에너지의 양은 광활성 영역의 흡수 특성 및 그 범위의 파장에 대한 광학장 세기 둘다에 의해 결정된다. 수학적으로, 광활성 영역의 공간에 걸쳐 또한 광학장 세기의 파장의 범위에 걸친 적분  $\times$  흡수 특성(둘다 위치 및 파장의 함수임)은 이 에너지의 척도를 제공한다. 파장 및 위치의 범위에 걸쳐 평균 흡수를 평균 광학장 세기와 곱하는 것이 이러한 개념을 정량화하는 한 방식이다. 광활성 영역의 "평균 광학장 세기"는 광학장 세기의 공간 및 파장에 걸친 적분을 공간의 부피 및 파장 범위의 폭으로 나눈 것이다.

광활성 영역에 의해 흡수된 에너지의 양을 최적화하기 위해, 일부 범위의 파장에 걸친 높은 흡수 특성을 동일 범위의 파장에 걸친 높은 광학장 세기와 중복시키는 것이 바람직하다. 그렇지만, 장치 설계에 영향을 주는 많은 다른 인자들이 있다. 제조 고려 사항으로 인해, 장치를 제조하는 데 사용되는 물질의 수를 제한하는 것이 바람직할 수 있다. 전도성 및 다른 물질로의 전하 캐리어 주입 등의 흡수 이외의 물질의 특성도 역시 역할을 한다. 광활성 영역의 위치는 여러가지 두께의 차단층, 주입층, 전극, 재결합 영역, 기타에 대한 필요성과 같은 광학장 세기 이외의 인자들에 의해 영향을 받을 수 있다.

본 발명의 일부 실시양태에서, 탠덤 태양 전지에 의한 광의 흡수는, 아마도 여러가지 다른 제약을 받고 있는, 광활성 영역의 흡수 특성 및 위치를 선택함으로써 최적화된다. 탠덤 태양 전지는 적어도 2개의 적층된 광활성 영역을 가지며, 3개 이상을 가질 수 있다. 탠덤 전지는, 서로 다른 흡수 특성을 갖는 적어도 2개의 광활성 영역을 포함하는 경우, "최적화된" 것으로 생각될 수 있으며, 이 전지는 광활성 영역이 동일한 흡수 특성, 즉 유의적으로 상이하지 않은 흡수 특성을 갖는 다른 동등한 장치보다 상당히 더 많은 광을 흡수한다. 이 최적화는 3개 이상의 전지로 확장될 수 있다.

3개 이상의 전지를 포함하는 일 실시양태에서, 그 전지들 중 일부는 동일한 흡수 특성을 갖는 광활성 영역을 가질 수 있다. 특정의 장치 구성에 대한 광학장 세기는 특정 범위의 파장에 대한 광학장 세기가 높은 2개 이상의 영역을 가질 수 있다. 특정 범위의 파장에 대한 광학장 세기가 높은 장치의 다수의 장소에 특정 범위의 파장을 우선적으로 흡수하는, 동일한 흡수 특성(즉, 유의적으로 상이하지 않은 흡수 특성)을 갖는 다수의 전지를 위치시키는 것이 바람직할 수 있다. 예를 들어, 반사층을 갖는 장치에서, 특정의 파장에 대한 광학장 세기는, 거리  $\lambda/4$ 에서 시작하여 그 후에  $\lambda/2$ 마다 주기적으로 반복하는, 반사층으로부터의 주기적 거리, 즉  $\lambda/4, 3\lambda/4, 5\lambda/4$ , 기타에서 국소 최대값을 가질 수 있다. 따라서, 반사층으로부터  $\lambda_1/4$  및  $\lambda_1/5$  거리에 파장  $\lambda_1$ 을 우선적으로 흡수하는 전지를 위치시키는 것이 바람직할 수 있으며, 다른 파장  $\lambda_2$ 를 우선적으로 흡수하는 전지는  $\lambda_1$ 을 우선적으로 흡수하는 2개의 전지 사이에, 양호하게는 파장  $\lambda_2$ 에 대한 광학장 세기가 높은 장소에 배치된다.

본 발명의 많은 실시양태들이 2개의 적층된 전지에 대해 기술되어 있지만, 더 많은 수의 적층된 전지가 사용될 수 있고 또 전지 및 전지에 인접하여 사용되는 차단층을 위치시키는 것과 관련한 개념들이 일반적으로 3개 이상의 전지를 갖는 적층에 적용가능하다는 것을 잘 알 것이다.

본 명세서에서 사용되는 바와 같이, 당업자라면 잘 알고 있는 바와 같이, 용어 "차단층"은, 그 층이 전하 캐리어 및/또는 엑시톤을 반드시 완전 차단한다는 것을 암시하지 않고, 그 층이 장치를 통한 전하 캐리어 및/또는 엑시톤의 수송을 상당히 억제시키는 장벽을 제공한다는 것을 의미한다. 장치에 이러한 차단층이 존재하면 그 결과 차단층이 없는 유사한 장치와 비교하여 상당히 높은 효율이 얻어질 수 있다.

도 3은 비대칭 유기 탠덤 전지 B(이의 구조는 도 3의 상단에 개략적으로 도시되어 있음)에서  $\lambda=450\text{nm}$ (실선) 및  $\lambda=650\text{nm}$ (점선)에서의 광학장 세기를 캐소드로부터의 거리의 함수로서 나타낸 것이다(표 1 참조).  $\lambda=450\text{nm}$ 에서의 세기는 반사 Ag 캐소드로부터 대략 400Å에서 피크를 이룬다. 즉  $\lambda=650\text{nm}$ 에 대한 것보다 약 300Å 더 가깝다. 따라서, 전방 전지에 더 짧은 파장 흡수 물질(들)을 농후하게 하고 후방 전지에 더 낮은 파장 흡수 물질(들)을 농후하게 하면 넓은 스펙트럼의 증가된 흡수가 얻어질 수 있다. 전지 B에서, 후방 전지는 전방 전지보다 상당히 더 두꺼운 균일  $C_{60}$  층을 가지며, 이로써 도 4에 나타낸 바와 같이  $C_{60}$  흡수 영역( $\lambda < 550\text{nm}$ )에서 더 높은 외부 양자 효율이 얻어진다.  $\lambda \approx 650\text{nm}$ 에서의 광 세기가 주로 전방 전지에 위치하기 때문에,  $550\text{nm} < \lambda < 750\text{nm}$ 에서의 양자 효율은 전방 전지의 경우보다 더 높을 수 있지만, 균일 CuPc 층 및 혼합 층의 두께는 그의 광전류의 균형을 이루게 하기 위해 양쪽 서브전지에서 대략 동일하다.

도 4는 전지 B의 전방 전지(점선) 및 후방 전지(실선)에 대한 계산된 외부 양자 효율을 나타낸 것이다. 2개의 서브전지로부터의 비대칭 스펙트럼 응답의 결과 비대칭 탠덤 전지 구조 뿐만 아니라 광학적 간섭이 얻어질 수 있다.

도 5는, 어둠 속에서 또한 시뮬레이션된 AM1.5G 태양 조명의 여러가지 세기 하에서, 비대칭 유기 탠덤 전지 A의 전류 밀도 대 전압(J-V) 특성을 나타낸 것이다. 어둠 속에서 또한 시뮬레이션된 AM1.5G 태양 조명의 여러가지 세기 하에서의 탠덤 전지 A의 실험에 의한 J-V 특성이 도시되어 있다(비어있는 기호).  $\pm 1.5\text{V}$ 에서  $10^5 - 10^6$ 의 정류 비율이 일반적이다. 1 태양 조명 하에서 개방-회로 전압은  $V_{oc} \approx 1.04\text{V}$ 이고, 10 태양 하에서 1.2V에 근접하며, 이는 단일의 CuPc/ $C_{60}$  하이브리드 PM-HJ 전지의 2배일 수 있다. 실선은 모델링된 J-V 특성이고, 이는 역바이어스 암전류(reverse-bias dark current)의 경우를 제외하고는 실험적 데이터와 부합하며, 이 경우 발생-재결합 전류 또는 열적으로 지원되는 터널링이  $J_d$ 에 상당히 기여할 수 있다.

도 6은 시뮬레이션된 AM1.5G 태양 조명 하에서 여러가지 비대칭 유기 탠덤 전지(A(채워진 정사각형), B(비어있는 원), C(채워진 삼각형))의 전력 변환 효율( $\eta_p$ )의 측정된 조명 세기( $P_0$ ) 의존성을, 5% 단일 CuPc/ $C_{60}$  하이브리드 평면-혼합된 헤테로접합 전지(비어있는 역삼각형)와 비교하여, 나타낸 것이다. 도 5의 실험에 의한 J-V 특성으로부터 도출된, 탠덤 전지 A의 전력 변환 효율은  $P_0=0.34$  태양에서 최대값  $\eta_p = (5.4 \pm 0.3)\%$ 에 도달한다. 더 높은 세기 조명 하에서, 비교적 두꺼운 혼합층으로 인해 FF가 감소된다(도 7 참조). 보다 얇은 혼합층의 경우, 탠덤 전지 B(비어있는 원)는 대략 11 태양의 강한 조명 하에서도 높은  $FF=0.56$ 을 나타낸다. 이것에 의해  $P_0 \geq 1$  태양에서  $\eta_p \approx (5.7 \pm 0.3)\%$ 가 얻어지며, 모델과 부합한다. 그렇지만, 탠덤 전지 C(채워진 삼각형)는, 주로 낮은  $FF \approx 0.51$ 로 인해, 모델 예측(6.5%)보다 낮은 효율을 갖는다. 이것은 전하 재결합 구역으로의 전자 전송을 방해하는  $C_{60}$ /PTCBI 계면에 있는 작은 에너지 장벽을 암시할 수 있다. 그럼에도 불구하고, 탠덤 전지 A 및 B의 효율은 5% 단일 CuPc/ $C_{60}$  하이브리드 PM-HJ 전지(도 6의 비어있는 역삼각형)보다 더 높으며, 이는 전지를 적층하는 것이 효과적임을 입증해 보여준다.

도 7은 도 6에 도시된 탠덤 전지 및 단일 하이브리드 PM-HJ 전지의 필 팩터(FF)를 나타낸 것이다. 높은 세기 조명 하에서, FF는 비교적 두꺼운 혼합층으로 인해 감소한다. 보다 얇은 혼합층의 경우, 탠덤 전지 B(비어있는 원)는, 대략 11 태양의 강한 조명 하에서도, 높은  $FF=0.56$ 을 나타낸다.

도 8은 대표적인 수직 광 경로 길이(815, 825)에서의 PV 장치(810, 820)의 2가지 가능한 기하구조를 나타낸 것이다. 이 수직 광학 경로 길이는 장치의 표면에 대해 수직으로 측정된다.

도 9는 ITO 상에 증착된, 여러가지 혼합비를 갖는 CuPc: $C_{60}$  막의 흡수 스펙트럼을 나타낸 것이다. 혼합막에서의 CuPc의 농도는 100% CuPc(CuPc 단일층)(910), 62%(920), 40%(930), 33%(940) 및 21%(950)이다. 순수한 CuPc 막은 파장 620nm 및 695nm에서 2개의 피크를 갖는다. 보다 긴 쪽의 파장 피크는 분자 프렌켈 엑시톤 생성으로 인한 것인 반면, 보다 짧은 쪽의 파장 특징은 CuPc 집합체의 형성으로 인한 것이다. 보다 긴 쪽 파장 피크는 기체 상태(gas phase) 또는 희석액

(dilute solution)에서 우세하다. 도 9는 보다 긴 쪽 과장 피크의 크기가  $C_{60}$  함유량의 증가에 따라 증가함을 보여준다. 따라서, CuPc 분자는  $C_{60}$  함유량의 증가에 따라 더 느리게 집합체를 형성하는 경향을 보여준다. 이것은  $C_{60}$  농도의 증가가 CuPc 집합체 형성을 방해함으로써 혼합막에서의 정공 수송을 저하시키고, 아마도 낮은 캐리어 수집 효율에 이르게 함을 암시한다. 이것은 CuPc: $C_{60}$ (1:2) 혼합층 PV 전지의 감소된 전력 효율( $\eta_p = (2.6 \pm 0.1)\%$ , 표 2 참조)에 반영된다. 그렇지만, 1:1의 농도에서, 저저항 정공 수송을 가능하게 해주기 위해 CuPc 분자의 충분한 집합체 형성이 존재하긴 하지만, 훨씬 더 높은 대칭성  $C_{60}$  분자는 또한 캐소드로의 효율적인 전자 수송을 위한 침투 경로를 형성할 수 있다.

표 1은 1 태양 AM1.5G 태양 조명 하에서 3개의 유기 탠덤 광기전력 전지의 층 두께(Å) 뿐만 아니라 예측된 성능 파라미터(단락-회로 전류 밀도( $J_{sc}$ ), 개방-회로 전압( $V_{oc}$ ), 필 팩터(FF), 및 전력 변환 효율( $\eta_p$ ))를 나타낸 것이다. 각각의 탠덤 전지에서 전하 재결합 구역은 5 Å 두께의 Ag 나노클러스터 층 및 5 mol%  $F_4$ -TCNQ로 도핑된 50 Å 두께의 m-MTDATA로 이루어져 있다.

표 2는 CuPc/ $C_{60}$  하이브리드 PM-HJ 탠덤 PV 전지의 J-V 특성을 모델링하는 데 사용되는 파라미터를 나타낸 것이다.

본 명세서에 기술된 실시양태들이 단지 예시적인 것이며 다른 실시양태들이 본 발명에 따라 사용될 수 있음을 잘 알 것이다. 예를 들어, 예시된 층들의 순서는 변경될 수 있다. 예를 들어, 도 1 및 도 2에서, 차단층, 기타의 적절한 재배치와 함께, 광활성층, 즉 유기 영역(230, 250)의 위치가 전환될 수 있다. 차단층, 전하 재결합층, 기타와 같은 부가적인 층이 존재하거나 존재하지 않을 수 있다. 예를 들어, 차단층이 제거될 수 있고/있거나, 부가적인 차단층이 존재할 수 있다. 비광활성 영역이 존재할 수 있으며, 반사층에 대해 광활성 영역의 위치를 조절하는 데 사용될 수 있다. 탠덤 태양 전지 등의 여러가지 태양 전지 구성이 사용될 수 있다. 구체적으로 기술된 것과 다른 물질이 사용될 수 있다. 예를 들어, 장치가 어느 정도 투명할 수 있도록 전극들 전부가 ITO인 장치가 제조될 수 있다. 게다가, 증착된 마지막 전극이 지지 표면에 가장 가깝게 될 수 있도록, 장치가 기판 상에 제조되고 이어서 지지 표면에 부착될 수 있다. 많은 실시양태들이 태양 전지와 관련하여 기술되어 있지만, 다른 실시양태들은 광검출기 등의 D-A 헤테로접합을 갖는 다른 유형의 감광성 장치에서 사용될 수 있다.

본 발명의 실시양태들에 의해 달성되는 전력 효율이 유기 태양 전지의 경우에 달성되는 종래의 효율보다 더 높다. 이들 결과는, 효율을 염두해 두고 선택된 두께 및 위치와 함께, 혼합 유기 광활성층과 관련하여 미혼합 유기 광활성층을 이용하는 것을 비롯하여, 본 발명의 실시양태의 여러가지 특징들 간의 상호작용으로 인한 것일 수 있다. 본 발명의 실시양태들은, 7%-10%의 효율로, 현재 생산 중인 a-Si 전지의 것에 가까운 전력 변환 효율에도 도달할 수 있다. 본 발명의 실시양태들에 따라 장치를 개량하면, 훨씬 더 높은 전력 효율이 달성될 수 있을 것으로 예상된다. 예를 들어, 간단한 반사 방지 코팅을 유리 기판에 도포함으로써, 부가적인 10% 효율 개선이 가능할 수 있으며, 이는 본 명세서에 제안된 탠덤 전지 구조가 7%를 넘는 효율을 달성할 수 있음을 암시한다. 3개 이상의 전지를 직렬로 적층하면 더 많은 광을 수확하는 데 도움이 될 수 있지만, 효율적인 전지 구조를 달성하는 것이 더 어렵다. 비대칭 탠덤 전지 구조의 궁극적인 이점은 개개의 서브전지 내에 서로 다른 도너-억셉터 물질 조합물을 혼입시키는 것이 현행 CuPc- $C_{60}$  시스템보다 더 넓은 태양 스펙트럼 영역을 커버할 수 있게 해준다는 것이다. 적절히 패키징된 유기 태양 전지 모듈에서 높은 생산 수율 및 긴 작동 수명이 가능하지만 하다면, 비대칭 하이브리드 PM-HJ 탠덤 전지는 다양한 응용에서 사용하기 위한 상당한 잠재력을 갖는다.

### 실시예

본 발명의 일 실시양태에서, 효율적인 광기전력 전지가 제공된다. 2개의 적층된 하이브리드 평면-혼합 헤테로접합 전지를 갖는 전지는 투명한 전도성 ITO로 사전 코팅된 유리 기판 상에 제조되었다. 이 장치는 ITO / 75 Å CuPc / 122 Å CuPc: $C_{60}$ (중량 단위, 1.2:1)/80 Å  $C_{60}$ /50 Å PTCBI/5 Å Ag/50 Å m-MTDATA: $F_4$ -TCNQ/60 Å CuPc / 132 Å CuPc: $C_{60}$ (중량 단위, 1.2:1)/160 Å  $C_{60}$ /75 Å BCP/Ag 구조를 갖는다. 캐소드로부터 더 멀리 떨어져 있는 전지는 CuPc가 약간 농후하고, 이는 550 nm 내지 750 nm의 스펙트럼 영역에서 흡수하는 반면, 캐소드에 더 가까운 전지는  $C_{60}$ 이 농후하며, 이는 350 nm 내지 550 nm의 스펙트럼 범위에서 흡수한다. 1 태양 내지 4 태양 시뮬레이션된 AM1.5G 태양 조명 하에서  $(5.6 \pm 0.3)\%$ 의 최대 전력 효율이 측정되었다.

유기 하이브리드 평면-혼합 헤테로접합 광기전력 전지는  $15 \Omega/sq$ 의 시트 저항을 갖는, ~1500 Å 두께의 투명한 전도성 ITO 애노드로 예비 코팅된 유리 기판 상에 제조되었다. 이 기판은 용제에서 세정되고 나서 5분 동안 UV-오존 처리되었다.

유기층 및 금속 캐소드가 베이스 압력  $\sim 2 \times 10^{-7}$  Torr를 갖는 고진공 챔버에서 열 증발을 통해 증착되었다.

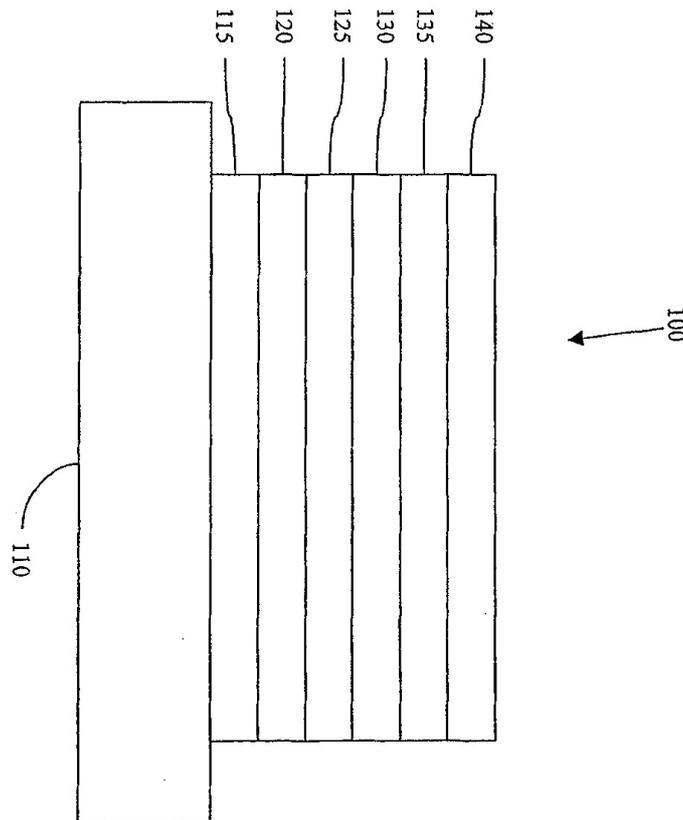
$d_n \sim 50 - 200 \text{ \AA}$ 의 두께를 갖는 CuPc 층,  $d_m \sim 0 - 300 \text{ \AA}$ 의 두께를 갖는 CuPc:C<sub>60</sub>(중량 단위, 1:1)의 동시 증착된 층, 및  $d_A \sim 250 - 400 \text{ \AA}$ 의 두께를 갖는 C<sub>60</sub> 층이 순차적으로 ITO 애노드 상에 증착되고, 이어서 BCP의 100Å 두께의 엑시톤 차단층이 증착되었다. 마지막으로, 1000Å 두께의 Ag 캐소드가 1 mm 직경 개구를 갖는 웨도우 마스크를 통해 증발되었다.

어둠 속에서 또한 150W 크세논-아크 램프(Oriel Instruments)로부터의 시뮬레이션된 AM1.5G 태양 조명 하에서 25°C에서 PV 전지의 전류-전압 특성은 HP 4155B 반도체 파라미터 분석기를 사용하여 측정되었다. 중간 밀도 필터를 사용하여 조명 세기가 변경되었고 보정된 광대역 광전력 미터(Oriel Instruments)로 측정되었다.

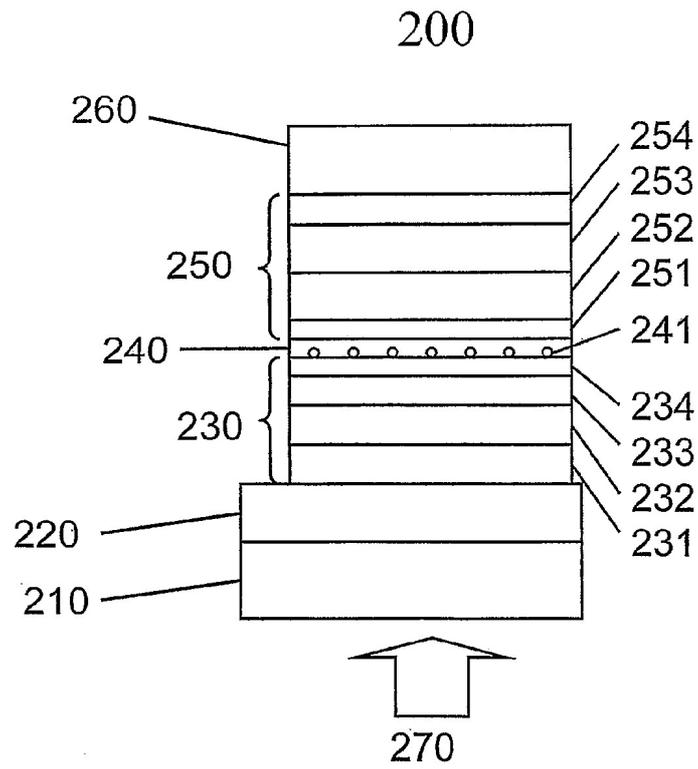
본 발명이 특정의 실시예 및 양호한 실시양태와 관련하여 기술되어 있지만, 본 발명이 이들 실시예 및 실시양태에 한정되지 않는다는 것을 잘 알 것이다. 따라서, 당업자라면 잘 알고 있는 바와 같이, 청구된 본 발명은 본 명세서에 기술된 특정의 실시예 및 양호한 실시양태로부터 유래하는 변형예를 포함한다.

도면

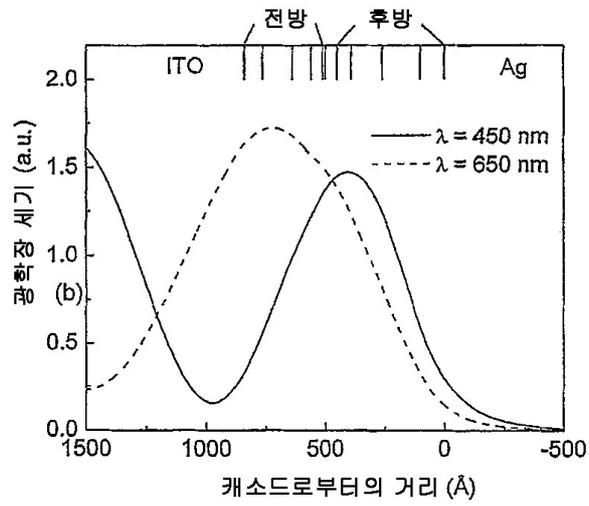
도면1



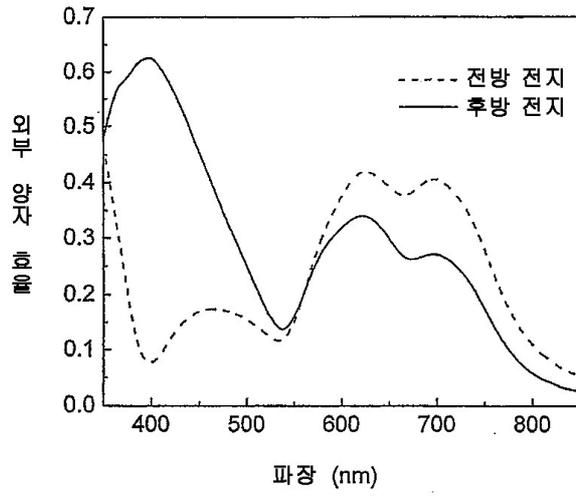
도면2



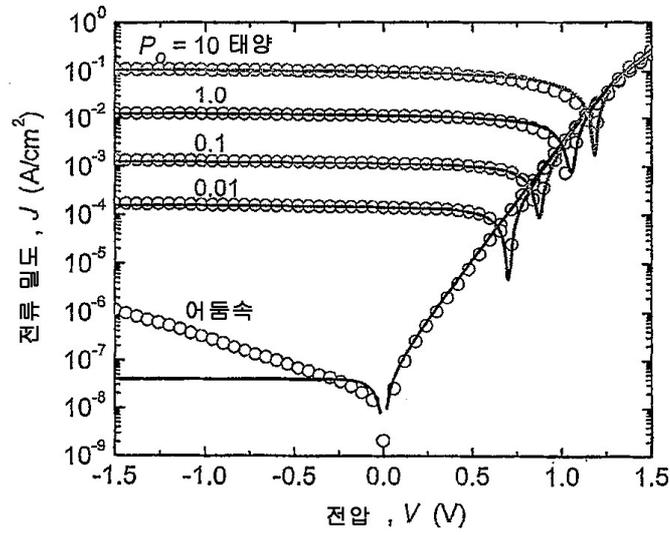
도면3



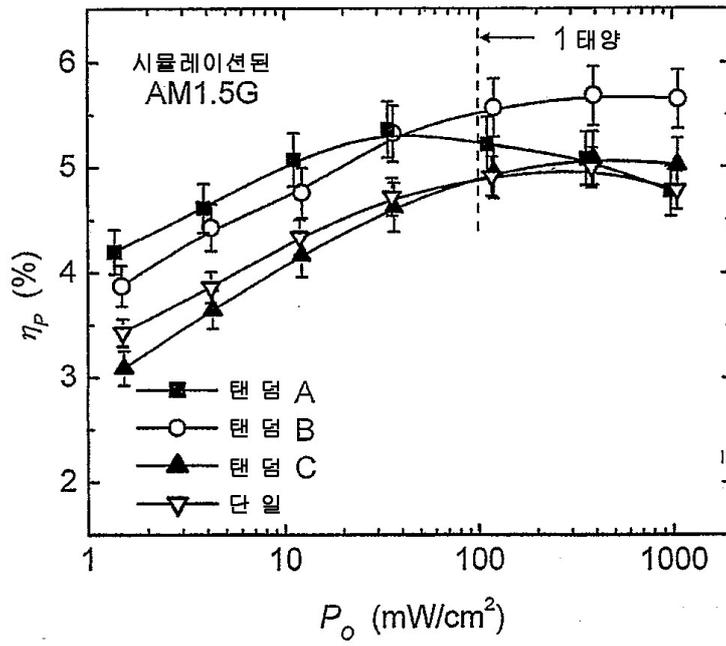
도면4



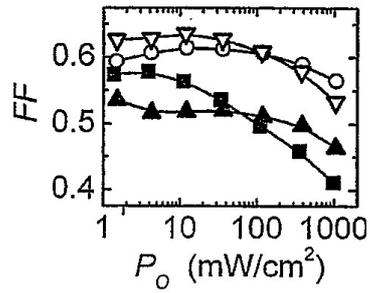
도면5



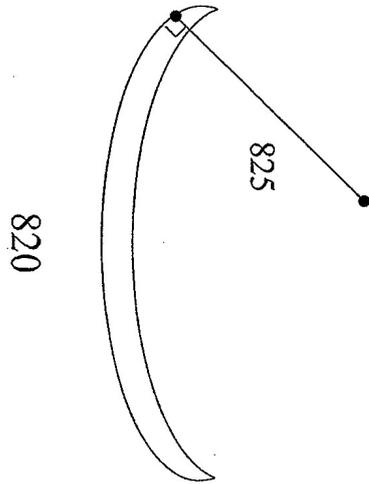
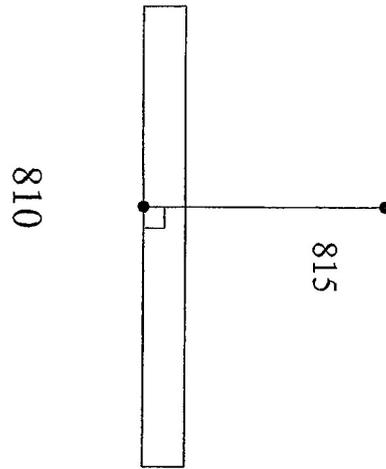
도면6



도면7



도면8



도면9

