(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2016-0052871
(43) 공개일자 2016년05월13일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
*H01L 51/42* (2006.01) *H01L 51/44* (2006.01)
*H01L 51/48* (2006.01)
(21) 출원번호 10-2014-0148061
(22) 출원일자 2014년10월29일
심사청구일자 2014년10월29일

(71) 출원인
**한국기계연구원**
대전광역시 유성구 가정북로 156 (장동)
(72) 발명자
**임동찬**
서울 양천구 목동동로 430, 613동 1802호 (목동, 목동신시가지아파트6단지)
**이주열**
경남 김해시 장유로288번길 15, 104동 1102호 (무계동, 장유더샵아파트)
*(뒷면에 계속)*
(74) 대리인
**이원희**

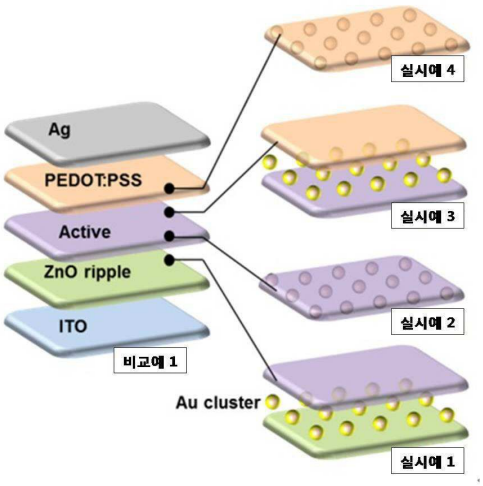
전체 청구항 수 : 총 16 항

(54) 발명의 명칭 **금속 나노클러스터를 포함하는 유기태양전지 및 이의 제조방법**

## (57) 요 약

본 발명은 기판; 음극; 전자수송층; 광활성층; 정공수송층; 및 양극;을 포함하되, 금속 나노입자 및 상기 금속 나노입자를 둘러싸는 티올레이트(thiolate) 리간드(ligand)를 포함하는 금속 나노클러스터(nanocluster)를 상기 광활성층 및 전자수송층 사이로 포함하는 것을 특징으로 하는 태양전지를 제공한다. 또한 본 발명은 수 nm 크기의 금속 나노클러스터(nanocluster)를 적용한 벌크 이종 접합 태양전지를 제공함으로써, 종래의 수십 nm 크기의 금속 나노입자를 적용한 태양전지보다 우수한 광기전성능 및 광발광 수명을 나타내었다.

*대 표 도* - 도5



(72) 발명자

**서보열**

경남 창원시 성산구 창원대로 797, 재료연구소 기숙사동 210호 (상남동)

**조신욱**

울산 남구 대학로 93 (무거동, 울산대학교 물리학과)

**김영독**

경기 수원시 영통구 봉영로1517번길 73, 925동 1402호 (영통동, 삼성태영아파트)

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

| | |
|---|---|
| 과제고유번호 | PNK3660 |
| 부처명 | 미래창조과학부 |
| 연구관리전문기관 | 한국기계연구원 부설 재료연구소 |
| 연구사업명 | 기관 고유사업 |
| 연구과제명 | 습식공정기반 고효율 Hybrid 광활성 핵심소재기술 개발 |
| 기 여 율 | 1/1 |
| 주관기관 | 한국기계연구원 부설 재료연구소 |
| 연구기간 | 2012.01.01 ~ 2014.12.31 |

# 명 세 서

## 청구범위

### 청구항 1

기판; 음극; 전자수송층; 광활성층; 정공수송층; 및 양극;을 포함하되,

금속 나노입자 및 상기 금속 나노입자를 둘러싸는 티올레이트(thiolate) 리간드(ligand)를 포함하는 금속 나노클러스터(nanocluster)를 상기 광활성층과 전자수송층 사이로 포함하는 것을 특징으로 하는 태양전지.

### 청구항 2

기판; 음극; 전자수송층; 광활성층; 정공수송층; 및 양극;을 포함하되,

금속 나노입자 및 상기 금속 나노입자를 둘러싸는 티올레이트(thiolate) 리간드(ligand)를 포함하는 금속 나노클러스터(nanocluster)를 광활성층 내로 포함하는 것을 특징으로 하는 태양전지.

### 청구항 3

기판; 음극; 전자수송층; 광활성층; 정공수송층; 및 양극;을 포함하되,

금속 나노입자 및 상기 금속 나노입자를 둘러싸는 티올레이트(thiolate) 리간드(ligand)를 포함하는 금속 나노클러스터(nanocluster)를 광활성층과 정공수송층 사이로 포함하는 것을 특징으로 하는 태양전지.

### 청구항 4

기판; 음극; 전자수송층; 광활성층; 정공수송층; 및 양극;을 포함하되,

금속 나노입자 및 상기 금속 나노입자를 둘러싸는 티올레이트(thiolate) 리간드(ligand)를 포함하는 금속 나노클러스터(nanocluster)를 정공수송층 내로 포함하는 것을 특징으로 하는 태양전지.

### 청구항 5

제 1항 내지 4항 중 어느 한 항에 있어서, 상기 음극층은 ITO, AZO, IZO, GZO, ITO-Ag-ITO, ITO-Cu-ITO, AZO-Ag-AZO, GZO-Ag-GZO, IZO-Ag-IZO 및 IZTO-Ag-IZTO를 포함하는 것을 특징으로 하는 태양전지.

### 청구항 6

제 1항 내지 4항 중 어느 한 항에 있어서, 상기 전자 수송층은 산화아연, 이산화티타늄, 산화규소, 산화 지르코늄, 산화 스트론튬, 산화인듐, 산화바나듐, 산화 몰리브덴, 산화텅스텐, 산화주석, 산화니오븀, 산화마그네슘, 및 산화갈륨으로 이루어진 군으로부터 선택되는 1종의 금속산화물을 포함하는 것을 특징으로 하는 태양전지.

### 청구항 7

제 6항에 있어서 상기 산화아연의 전구체는 아연(Zn)을 포함하는 아세테이트, 시트레이트, 아세틸아세토네이트, 아크릴레이트, 아미드, 보로하이드라이드, 브로마이드, 클로라이드, 클로로티오페놀레이트, 시아나이드, 사이클로헥산부틸레이트, 부틸살리실레이트, 카바메이트, 살레이트, 옥사이드, 퍼클로레이트, 퍼옥사이드, 포스페이트, 프탈로시아닌, 스테아레이트, 설페이트, 설파이드 및 포르핀으로 이루어지는 군으로부터 선택

되는 1종 이상인 것을 특징으로 하는  특징으로 하는 태양전지.

**청구항 8**

제 1항 내지 4항 중 어느 한 항에 있어서, 상기 금속 나노입자는  금, 은, 백금, 팔라듐, 알루미늄, 구리 및 니켈을 포함하는 군으로부터 선택되는 1종의 금속 나노입자인 것을 특징으로 하는 태양전지.

**청구항 9**

제 1항 내지 4항 중 어느 한 항에 있어서, 상기 금속 나노입자는 원자수가 2내지 100개이고, 상기 금속 나노클러스터는 발광특성이 나노클러스터인 것을 특징으로 하는 태양전지.

**청구항 10**

제 1항 내지 4항 중 어느 한 항에 있어서, 상기 티올레이트 리간드(thiolate ligand)는 8 내지 20 개의 탄소를 포함하는 것을 특징으로 하는 태양전지.

**청구항 11**

제 1항 내지 4항 중 어느 한 항에 있어서,

상기 정공수송층은 PEDOT:PSS[poly(3,4-ethylenedioxythiophene):poly(4-styrenesulfonate)], G-PEDOT[poly(3,4- ethylenedioxythiophene):poly(4-styrene sulfonate):polyglycol (glycerol)], PANI:PSS[polyaniline:poly(4-styrene sulfonate)], PANI:CSA(polyaniline: camphor sulfonic acid), PDBT[poly(4,4'-dimethoxy bithophene)], 아릴아민기(aryl amine group)를 가지는 저분자와 고분자, 방향족 아민기(aromatic amine group)를 가지는 저분자와 고분자로 이루어진 군중에서 선택되는 1종 이상인 것을 포함하는 태양전지.

**청구항 12**

제 1항 내지 4항 중 어느 한 항에 있어서, 상기 양극층은 은(Ag), 니켈(Ni) 및 금(Au)을 포함하는 군으로부터 선택된 1종을 포함하는 태양전지.

**청구항 13**

제 1항 내지 4항 중 어느 한 항의 금속 나노클러스터(nanocluster)를 포함하는 태양전지의 제조방법으로써,

금속 클러스터를 제조하는 단계 (단계 1);

상기 단계 1에서 제조된 금속 클러스터의 리간드 교환반응(ligand exchange)을 통해 금속 나노입자를 둘러싸는 티올레이트를 포함하는 금속 나노클러스트를 제조하는 단계 (단계 2);

상기 단계 2에서 제조된 금속 나노클러스터를 상기 광활성층과 전자수송층 사이, 또는 광활성층 내 또는 광활성층과 정공수송층 사이, 또는 정공수송층 내로 구비시키는 단계 (단계 3);를 포함하는 것을 특징으로 하는 태양전지의 제조방법.

**청구항 14**

제 13항에 있어서, 상기 단계 2에서 금속 클러스터 코어(core)를 에칭(ething)하는 단계를 더 포함하는 것을 특

징으로 하는 태양전지의 제조방법.

**청구항 15**

제 13항에 있어서, 상기 단계 2에서 제조된 금속 나노클러스터와 전도성 고분자 물질과 혼합하여 광활성층과 전자수송층 사이, 또는 정공수송층 내로 구비시키는 것을 특징으로 하는 태양전지의 제조방법.

**청구항 16**

제 13항에 있어서, 상기 단계 2에서 제조된 금속 나노클러스터와 광활성층 물질과 혼합하여 광활성층 내로 구비시키는 것을 특징으로 하는 태양전지의 제조방법.

## *발명의 설명*

### *기 술 분 야*

[0001] 본 발명은 금속 나노클러스터를 포함하는 유기태양전지 및 이의 제조방법에 관한 것이다.

### *배 경 기 술*

[0002] 최근 기존의 실리콘 및 화합물 반도체 기반의 태양전지에서 유기물을 이용한 유기박막 태양전지에 대한 관심이 증가하는 추세이다.

[0003] 유기박막 태양전지 기술은 고분자 혹은 유기 반도체를 이용하여 태양에너지를 전기에너지로 변환시키는 기술로, 이는 실리콘 태양전지의 광변환 효율에 비하여 매우 낮은 수준이나, 저렴한 비용과 제조공정의 용이성을 바탕으로 경량화, 대면적, 유연성 소자등 다양한 분야에 응용이 가능한 장점을 가지고 있다.

[0004] 유기태양전지는 고온의 열을 필요로 하지 않기 때문에 대체로 저항이 낮은 ITO 기판을 이용한다. 상기 ITO 기판 상부로는 광활성층 및 전극 사이의 완충작용과 정공전달 효과(hole-transporting effect)를 높이기 위해 전도성 고분자층을 형성시킨다.

[0005] 또한, 상기 전도성 고분자층 상부로는 광활성층 박막을 형성시키며, 상기 광활성층은 전자주개(electron donor)역할을 하는 p형 반도체 고분자와 전자받개(electron acceptor) 역할을 하는 n형 유기분자의 벌크 이종 접합 구조(bulk heterojunction)로 형성될 수 있다.

[0006] 최종적으로 상기 광활성층 상부로는 금속전극을 형성시킴으로써 유기태양전지가 완성되며, 상기 금속전극으로는 은, 알루미늄 등의 전도성 금속을 이용할 수 있다.

[0007] 상기한 바와 같은 유기태양전지의 구조에서 알 수 있듯이 유기태양전지의 광활성층으로는 전자주개와 전자받개의 p-n접합 반도체 구동원리가 적용되며, 상기 광활성층으로는 폴리티오펜(polythiophene) 계열의 p형 반도체 고분자와 플러렌계열의 n형 유기물질들이 널리 이용되고 있다.

[0008] 최근에 유기태양전지의 광변환 효율 향상이 많이 진보되었지만, 실제 적용에 있어서 여전히 효율 향상이 필요한 실정이다. 일반적으로 불충분한 태양 광 흡수는 더 높은 효율을 얻기 위하여, 벌크이종접합 태양 전지에 대한 중요한 방해인자로 간주된다.

[0009] 여러 가지 광 포획 방법으로는, 접이식 구성(folded configuration), 회절 격자(diffraction gratings), 광결정(photonic crystals), 표면 플라즈몬 공명 (surface plasmon resonance, SPR)이 연구되어 왔고, 광활성층의 두께 증가 없이 유기 필름에서 광흡수가 증가하는 것이 증명된 바 있다.

[0010] 이들 중에서, 다양한 금속 나노입자의 표면 플라즈몬 공명효과를 활용하는 것이 가장 성공적인 방법이었다.

[0011] 상기 표면 플라즈몬 공명 방법에 사용되는 금속 중에서, 금, 은 및 구리가 태양전지 분야에 가장 일반적인 금속으로 사용되었다. 이는 수십 나노미터(nm)크기의 미세조정되며, 전자기 스펙트럼의 가시 영역 또는 근적외선 영역에서 공명을 나타내기 때문이다.

[0012] 그러나 표면 플라즈몬 공명효과는 단지 금속 나노입자에 주위 국소 영역에 전계 효과를 주기 때문에, 표면 플라즈몬 공명 효과를 최대화하기 위해서는 활성층에 가까이 금속 나노입자를 배치시키는 것이 중요하다. 따라서, 은 또는 금 나노입자를 광활성층으로의 혼합은 가장 이상적인 방법으로써, 이로 인해 플라즈몬으로 향상된 광 또는 산란된 광이 더욱 효율적으로 도달할 수 있다.

[0013] 그러나 광활성층의 금속 나노입자의 직접적인 혼합은, 수십 nm 크기의 금속 나노입자는 상대적으로 큰 부피를 차지하여 벌크 이종 접합 활성부분을 감소시키기때문에 광기전 특성의 향상을 제한할 수 있다.

[0014] 또한, 지금까지 플라즈몬의 광기전 적용에 있어서 5 nm미만의 크기의 금속 나노입자는, 표면 플라즈몬 공명 효과로 인한 입사광 산란 및 전계 향상이 급속하게 감소되기 때문에 고려되지 않았다.

[0015] 이에, 본 발명자들은 유기태양전지의 광활성층으로 사용될 수 있는 물질들에 대하여 연구하던 중, 수십 nm 크기의 금속 나노입자를 대신하여, 수 nm 크기의 금속 나노클러스터(nanocluster)를 적용한 벌크 이종 접합 태양전지를 개발하여 본 발명을 완성하였다.

## *선행기술문헌*

### *비특허문헌*

[0016] (비특허문헌 0001) : H. A. Atwater, A.Polman, Plasmonics for improved photovoltaic devices, Nat. Mater.9, 205-213 (2010).

(비특허문헌 0002) : K. L.Kelly,E. Coronado,L. L. Zhao,G. C. Schatz, J. Phys. Chem. B107, 668-677 (2003).

## *발명의 내용*

### *해결하려는 과제*

[0017] 본 발명의 목적은 금속 나노클러스터를 포함하는 유기태양전지 및 이의 제조방법을 제공하는 데 있다.

### *과제의 해결 수단*

[0018] 상기 목적을 달성하기 위해,

[0019] 본 발명은,

[0020] 기판; 음극; 전자수송층; 광활성층; 정공수송층; 및 양극;을 포함하되,

[0021] 금속 나노입자 및 상기 금속 나노입자를 둘러싸는 티올레이트(thiolate) 리간드(ligand)를 포함하는 금속 나노클러스터(nanocluster)를 상기 광활성층과 전자수송층 사이로 포함하는 것을 특징으로 하는 태양전지를 제공한다.

[0022] 또한 본 발명은,

[0023] 기판; 음극; 전자수송층; 광활성층; 정공수송층; 및 양극;을 포함하되,

[0024] 금속 나노입자 및 상기 금속 나노입자를 둘러싸는 티올레이트(thiolate) 리간드(ligand)를 포함하는 금속 나노클러스터(nanocluster)를 광활성층 내로 포함하는 것을 특징으로 하는 태양전지를 제공한다.

[0025] 또한 본 발명은,

[0026] 기판; 음극; 전자수송층; 광활성층; 정공수송층; 및 양극;을 포함하되,

[0027] 금속 나노입자 및 상기 금속 나노입자를 둘러싸는 티올레이트(thiolate) 리간드(ligand)를 포함하는 금속 나노클러스터(nanocluster)를 광활성층과 정공수송층 사이로 포함하는 것을 특징으로 하는 태양전지를 제공한다.

[0028] 나아가, 본 발명은,

[0029] 기판; 음극; 전자수송층; 광활성층; 정공수송층; 및 양극;을 포함하되,

[0030] 금속 나노입자 및 상기 금속 나노입자를 둘러싸는 티올레이트(thiolate) 리간드(ligand)를 포함하는 금속 나노클러스터(nanocluster)를 정공수송층 내로 포함하는 것을 특징으로 하는 태양전지를 제공한다.

## *발명의 효과*

[0031] 본 발명은 수 nm 크기의 금속 나노클러스터(nanocluster)를 적용한 벌크 이종 접합 태양전지를 제공함으로써, 종래의 수십 nm 크기의 금속 나노입자를 적용한 태양전지보다 우수한 광기전 성능 및 광발광 수명을 나타내었다.

[0032] 또한 새로운 기능의 보호층 또는 금속 코어를 도입함으로써, 코어(core)의 크기 및 모양의 조절에 의한 새로운 기능의 금속 나노클러스터 물질을 개발할 수 있으며, 더 나아가 수 nm 크기의 금속 나노클러스터는 나노스케일의 전자 소자에 적용 및 개발에 충분한 기회를 제공할 수 있다.

## *도면의 간단한 설명*

[0033] 도 1은 본 발명에 따른 금속 나노클러스터 및 도데케인티올(dodecanethiol)의 화학구조의 모식도이고;

도 2는 제조예 1에서 제조된 금속 나노클러스터의 크기 분포 막대 그래프이고;

도 3은 상기 금속 나노클러스터의 고해상도 투과전자현미경(High-resolution transmission electron microscopy)으로 분석한 사진이고;

도 4(A)는 다양한 크기를 갖는 금 클러스터, 20 nm 이상의 금 나노입자 및 금 나노클러스터(Au:SR)의 자외선/가시광선영역의 흡광도 스펙트럼을 나타낸 그래프이고,

도 4(B)는 상기 금 클러스터(Au:SR)의 광발광(Photoluminescence,PL) 스펙트럼이고;

도 5는 실시예 1 내지 4 및 비교예 1의 태양전지의 모식도이고;

도 6은 실시예 1 내지 4에서 제조된 태양전지의 전류-전압 곡선을 나타낸 그래프이고;

도 7(A)는 금 나노클러스터(Au:SR)의 유무에 따른 PTB7 필름의 광발광 감쇠 분포(photoluminescenc decay profiles)를 나타낸 그래프이고, 도 7(B)는 금 나노 클러스터의 유무에 따른 PTB7:$PC_{70}BM$ 필름의 광발광 감쇠 분포를 나타낸 그래프이고;

도 8은 PTB7 필름 및 PTB7:$PC_{70}BM$ 필름의 자외선-가시광선영역의 흡광도와, 금 나노클러스터(Au:SR)의 광발광 스펙트럼을 나타낸 것이고;

도 9는 나노 리플(ripple) 구조의 산화아연을 원자힘현미경(Atomic force microscopy,AFM)을 통해 분석한 사진이다.

## *발명을 실시하기 위한 구체적인 내용*

[0034] 이하, 본 발명에 대해 상세히 설명한다.

[0035] 본 발명은,

[0036] 기판; 음극; 전자수송층; 광활성층; 정공수송층; 및 양극;을 포함하되,

[0037] 금속 나노입자 및 상기 금속 나노입자를 둘러싸는 티올레이트(thiolate) 리간드(ligand)를 포함하는 금속 나노클러스터(nanocluster)를 상기 광활성층과 전자수송층 사이로 포함하는 것을 특징으로 하는 태양전지를 제공한다.

[0038] 본 발명에 따른 금속 나노입자를 둘러싸는 티올레이트(thiolate) 리간드(ligand)를 포함하는 금속 나노클러스터(nanocluster)에 있어서, 상기 금속 나노입자는 금, 은, 백금, 팔라듐, 알루미늄, 구리 및 니켈을 포함하는 군으로부터 선택되어 사용할 수 있다.

[0039] 상기 금속 나노입자는 표면 플라즈몬 공명(Surface Plasmon Resonance, SPR)에 의한 광흡수도 증가 효과가 있음이 알려져 있다. 이러한 표면 플라즈몬(surface plasmon)은 금속 내 전자들의 집단적 진동 (collective charge density oscillation)으로, 표면 플라즈몬 현상을 나타내는 금속으로는 금, 은, 구리, 알루미늄 등과 같이 외부 자극에 의해 전자의 방출이 쉽고 음의 유전상수를 갖는 금속들이 주로 사용된다.

[0040] 그러나 표면 플라즈몬 공명효과는 단지 금속 나노입자에 주위 국소 영역에 전계 효과를 주기 때문에, 표면 플라즈몬 공명 효과를 최대화하기 위해서는 활성층에 가까이 금속 나노입자를 배치시키는 것이 중요하다.

[0041] 따라서, 은 또는 금 나노입자가 광활성층 물질로서 포함시키는 것이 바람직하며, 광 흡수도를 효율적으로 증가시킬 수 있다.

[0042] 한편, 본 발명은 특정 원자개수를 가지는 금속나노입자를 사용할 수 있고, 상기 원자수는 2 내지 100 개인 것이 바람직하며, 예를 들어 금(Au)원자 38개로 이루어진 금속 나노입자일 수 있다.

[0043] 상기 범위의 원자 개수를 가지는 금속 나노입자를 사용하는 경우, 특정 파장에 대한 발광특성을 보이기 때문이며, 이러한 발광 특성이 있는 금속 나노클러스터가 태양전지에 적용시킴으로써, 금속 클러스터의 발광 에너지가 광활성층에 전달되어 효율을 향상시킬 수 있다.

[0044] 이때, 상기 금속 나노클러스터의 크기는 대략적으로 1 내지 5 nm일 수 있다. 만약 크기가 5 nm 이상일 경우에는 상대적으로 큰 부피를 차지하기 벌크 이종 접합의 활성부분을 감소시킬 수 있어 광기전 특성의 향상을 제한할 수 있다.

[0045] 또한 상기 금속 클러스터의 크기가 5 nm 미만일 경우에는, 입사광 산란 및 전계 향상이 급속하게 감소되는 문제점이 발생할 수 있다.

[0046] 한편, 본 발명에 따른 금속 나노클러스터에 있어서, 금속 나노입자를 둘러싸는 티올레이트(thiolate) 리간드(ligand)의 탄소수는 8 내지 20일 수 있다.

[0047] 또한 태양전지의 광활성층과 전자수송층 사이로 상기 금속 나노입자 및 상기 금속 나노입자를 둘러싸는 티올레이트 리간드를 포함하는 금속 나노클러스터가 구비시킴으로써, 발광 특성이 있는 금속 나노클러스터의 발광 에너지가 광활성층에 달되어 광전효율을 향상시키는 역할을 하여 금속 나노클러스터가 구비되지 않은 태양전지보다 높은 광전효율을 얻을 수 있다.

[0048] 또한 상기 전자 수송층은 산화아연, 이산화티타늄, 산화규소, 산화 지르코늄, 산화 스트론튬, 산화인듐, 산화

바나듐, 산화 몰리브덴, 산화텅스텐, 산화주석, 산화니오븀, 산화마그네슘, 및 산화갈륨으로 이루어진 군으로부터 선택되는 1종의 금속산화물을 포함할 수 있으며,

[0049] 상기 산화아연의 전구체는 아연(Zn)을 포함하는 아세테이트, 시트레이트, 아세틸아세토네이트, 아크릴레이트, 아미드, 보로하이드라이드, 브로마이드, 클로라이드, 클로로티오페놀레이트, 시아나이드, 사이클로헥산부틸레이트, 부틸살리실레이트, 카바메이트, 살레이트, 옥사이드, 퍼클로레이트, 퍼옥사이드, 포스페이트, 프탈로시아닌, 스테아레이트, 설페이트, 설파이드 및 포르핀으로 이루어지는 군으로부터 선택되는 1종 이상인 것을 사용할 수 있다.

[0050] 상기 금속 산화물 전구체와 금속 전구체가 상기 물질들로 제한되는 것은 아니다.

[0051] 한편, 상기 금속 산화물은 나노 리플(nano-ripple) 구조일 수 있다.

[0052] 상기 나노 리플 구조의 산화아연 필름은 인버티드 유기 태양전지에서 정공-차단(hole-blocking) 및 전자 전달층(electron-transporting layer)으로 사용되었으며, 나노 리플 구조를 적용함으로써, 빛의 산란을 통한 광 흡수의 향상을 제공할 수있다.

[0053] 상기 정공수송층은 PANI:PSS[polyaniline:poly(4-styrene sulfonate)], PANI:CSA(polyaniline: camphor sulfonic acid), PDBT[poly(4,4'-dimethoxy bithophene)], PEDOT:PSS [poly(3,4-ethylenedioxythiophene): poly(4-styrenesulfonate)], 아릴아민기(aryl amine group)를 가지는 저분자와 고분자, 방향족아민기(aromatic amine group)를 가지는 저분자와 고분자로 이루어진 군중에서 선택되는 1종 이상을 사용하며, 상기 양극층은 은(Ag), 니켈(Ni) 및 금(Au)을 포함하는 군으로부터 선택된 1종을 사용할 수 있다.

[0054] 또한 본 발명은

[0055] 기판; 음극; 전자수송층; 광활성층; 정공수송층; 및 양극;을 포함하되,

[0056] 금속 나노입자 및 상기 금속 나노입자를 둘러싸는 티올레이트 리간드를 포함하는 금속 나노클러스터를 광활성층 내로 포함하는 것을 특징으로 하는 태양전지를 제공한다.

[0057] 이때, 상기 금속 나노클러스터는 종래의 광활성층으로써 사용되는 전도성 고분자와 혼합된 후, 전자 전달층상에 증착되어 광활성층을 형성할 수 있으며, 상기 발광특성을 가지는 금속 나노클러스터의 발광 에너지가 광활성층에 전달되어 광전효율을 향상시킬 수 있다.

[0058] 상기 전도성 고분자는,

[0059] poly[[4,8-bis[(2-ethylhexyl)oxy]benzo[1,2-b:4,5-b']dithiophene-2,6-diyl][3-fluoro-2-[(2-ethylhexyl)-carbonyl]-thieno-[3,4-b]thiophenediyl]](PTB7), [6,6]-phenyl-C70 butyric acid methyl ester (PC70BM), [6,6]- phenyl-C85 butyric acid methyl ester(PCBM), poly(3-hexylthiophene(P3HT), poly[2-methoxy-5-(2'-ethylhexyloxy)-p-phenylene vinylene](MEH-PPV) 및 poly[N-9"-hepta-decanyl-2,7-carbazole-alt-5,5-(4',7'-di-2-thienyl-2',1',3'-benzothiadiazole)](PCDTBT)을 이루는 군으로부터 선택되는 1종 이상을 사용할 수 있으나 이에 제한되는 것은 아니다. 바람직하게는 PTB7:$PC_{70}BM$을 사용할 수 있다.

[0060] 또한 본 발명은,

[0061] 기판; 음극; 전자수송층; 광활성층; 정공수송층; 및 양극;을 포함하되,

[0062] 금속 나노입자 및 상기 금속 나노입자를 둘러싸는 티올레이트 리간드를 포함하는 금속 나노클러스터를 광활성층과 정공수송층 사이로 포함하는 것을 특징으로 하는 태양전지를 제공한다.

[0063] 이때, 상기 금속 나노클러스터를 광활성층상에 증착시킴으로써, 금속나노입자의 표면 플라즈몬 공명효과 및 발광 특성으로 인하여 광활성층의 광흡수도의 증가와 함께, 향상된 광전효율을 얻을 수 있다.

[0064] 또한 본 발명은,

[0065] 기판; 음극; 전자수송층; 광활성층; 정공수송층; 및 양극;을 포함하되,

[0066] 금속 나노입자 및 상기 금속 나노입자를 둘러싸는 티올레이트 리간드를 포함하는 금속 나노클러스터를 정공수송층 내로 포함하는 것을 특징으로 하는 태양전지를 제공한다.

[0067] 이때, 상기 금속 나노클러스터는 PANI:PSS[polyaniline:poly(4-styrene sulfonate)], PANI:CSA(polyaniline:camphor sulfonic acid), PDBT[poly(4,4'-dimethoxy bithophene)], PEDOT:PSS [poly(3,4-ethylenedioxythiophene): poly(4-styrenesulfonate)], 아릴아민기(aryl amine group)를 가지는 저분자와 고분자, 방향족아민기(aromatic amine group)를 가지는 저분자와 고분자로 이루어진 군중에서 선택되는 1종 이상, 바람직하게는 PEDOT:PSS와 혼합되어 활성층상에 증착되어 정공수송층을 형성시킬 수 있다.

[0068] 상기 금속 나노클러스터를 포함한 정공수송층을 태양전지에 적용함으로써, 플라즈몬 공명 효과 및 특정 파장대에서 발광특성을 가지는 금속 나노클러스터의 발광에너지가 광활성층에 전달되어 우수한 광전효율을 얻을 수 있다.

[0069] 나아가, 본 발명은,

[0070] 금속 클러스터를 제조하는 단계 (단계 1);

[0071] 상기 단계 1에서 제조된 금속 클러스터의 리간드 교환반응(ligand exchange)을 통해 금속 나노입자를 둘러싸는 티올레이트를 포함하는 금속 나노클러스트를 제조하는 단계 (단계 2);

[0072] 상기 단계 2에서 제조된 금속 나노클러스터를 상기 광활성층과 전자수송층 사이, 또는 광활성층 내 또는 광활성층과 정공수송층 사이, 또는 정공수송층 내로 구비시키는 단계 (단계 3);를 포함하는 것을 특징으로 하는 태양전지의 제조방법을 제공한다.

[0073] 이하, 본 발명에 따른 상기 금속 나노클러스터(nanocluster)를 포함하는 태양전지의 제조방법을 단계별로 상세히 설명한다.

[0074] 상기 단계 1은 금속 클러스터를 제조하는 단계로, 예를 들어 글루타티온(glutathione, GSH)용액에 금속 나노입자 전구체 용액을 첨가하여 상기 혼합 용액을 원심 분리시켜 다양한 크기의 금속 클러스터를 얻을 수 있으며, 글루타티온 단층(GSH monolayer)로 보호된 금속 클러스터를 얻을 수 있다.

[0075] 상기 단계 2는 상기 단계 1에서 제조된 다양한 크기의 금속 클러스터의 리간드 교환반응(ligand exchange)을 통해서, 금속 나노입자를 둘러싸는 티올레이트를 포함하는 금속 나노클러스트를 제조하는 단계이다.

[0076] 상기 단계 1에서 제조된 금속 클러스터는 리간드 교환 반응 및 클러스터 코어(core)의 에칭(ething)을 통하여 유기상으로 옮겨지며, 상대적으로 큰 크기의 금속 클러스터를 얻을 수 있다.

[0077] 상기 단계 3은 상기 단계 2에서 제조된 금속 나노클러스터를 태양전지의 광활성층 및 전자수송층 사이 또는 광활성층 내에 또는 광활성층과 정공수송층 사이 또는 정공수송층 내로 구비시키는 단계이다.

[0078] 이때, 금속 나노 클러스터와 전도성 고분자 물질을 혼합하여 상기 혼합물을 활성층상에 형성시킴으로써, 광활성층과 정공수송층 사이 또는 정공수송층 내로 구비시킬 수 있다.

[0079] 이하, 본 발명을 실시예를 통해 보다 구체적으로 설명한다.

[0080] <제조예 1> 금 나노클러스터(Au:SR nanocluster)의 제조

[0081] 단계 1 : 10 ml의 10 mM 글루타티온(glutathione, SH)용액을 100 ml의 차가운 메탄올과 혼합하였다. 이어서, 상기 혼합 용액을 5 mM $HAuCl_4$ 용액에 첨가하였다. 그 다음 차가운 0.2 M $NaBH_4$ 용액 25 ml을 주입하였다. 상기

생성된 혼합물을 10분 동안 교반하였고, 원심분리에 의해 용액으로부터 분리시켰다.(15000 rpm, 20분)

[0082] 단계 2: 상기 단계 1에서 합성된 다중 크기의 글루타티온 단층(GSH monolayer)으로 보호된 금 클러스트는 (Au:SG) 메탄올과 물로 세척하였다. 상기 Au:SG 클러스터 0.003 g을 즉시 4 ml의 $H_2O$에 용해시키고, 6 ml의 아세톤과 8 ml의 도데케인싸이올(dodecanethiol)이 첨가되었다.

[0083] 단계 3: 상기 단계 2에서 제조된 용액을 80 ℃에서 180분 동안 격렬하게 교반하였다. 반응 동안에, 다중 크기의 금 클러스터(Au:SG)는 리간드 교환(ligand exchange)과 클러스터 코어(core)의 에칭(etching)에 의해 유기상으로 옮겨졌다.

[0084] 그와 동시에, 2차 성장이 발생 되었고, 이로 인해 상대적으로 큰 크기의 금 클러스트를 얻었으며, 혼합된 톨루엔/아세톤 용액(톨루엔:아세톤의 부피 비=1:5)으로 추출되고, 세척하여 2 nm 미만인 작은 크기의 금 나노클러스트(Au:SR, R=티올레이트(thiolate)의 꼬리)를 얻었다.

[0085] <실시예 1> 유기 태양전지의 제조 1

[0086] 인버티드 유기 태양전지 기판; 음극; 전자수송층; 광활성층; 정공수송층; 및 양극으로 구성되며,

[0087] 인듐 주석 산화물(ITO)이 코팅된 유리, 전자수송층으로는 나노 리플(nano-ripple)구조의 산화아연, 광활성층으로는 공여체 및 수여체 물질의 이종 접합(heterojunction), 정공수송층으로는 PEDOT:PSS, 양극으로는 은(Ag) 전극으로 구성된다.

[0088] 단계 1 : 전자수송층인 나노-리플 필름 산화아연층을 제조하기 위하여, 안정제인 에탄올아민을 포함하는 아연 아세테이트 이수화물 ($[Zn(CH_3COO)_2.2H_2O]$ (Sigma-Aldrich Co.,99.9%)을 2-메톡시에탄올(2-methoxyethanol, Sigma-Aldrich Co., 99.8%)에 용해시켰다. 균일한 용액을 얻기 위하여 상기 용액을 마그네틱 교반기를 사용하여 60 ℃에서 2 내지 3시간 동안 교반시켜 산화아연 졸-겔(sol-gel) 용액을 제조하였다.

[0089] 상기 제조된 0.75M 산화아연 졸-겔 용액을 ITO 코팅된 유리 기판에 스핀 코팅 하였고, 30분 동안 UV-오존으로 전처리하였다. 코팅 후에, 유리는 소성로에서 22 ℃/분의 일정한 승온 속도로 350 ℃의 공기 분위기에서 가열되었다.

[0090] 단계 2 : 활성층을 제조하기 위하여, PTB7:$PC_{70}BM$ (8 mg:12 mg)을 클로로벤젠/1,8-디요오드옥탄(chlorobenzene/1,8-diiodooxtane,CB/DIO)(0.97 ml/0.03 ml)내에 용해시켰다.

[0091] 상기 혼합 용액을 60 ℃의 아르곤 분위기에서 하룻밤 동안 교반한 후, 0.20 ㎛ 두께의 폴리에트라플루오로에틸렌(polytetrafluoroethylene, PTFE) 필터를 통해 통과시킨 후, 단계 1에서 제조된 산화아연으로 코팅된 ITO 전극상에 40초 동안 1000rpm의 스핀 코팅법으로 활성층이 증착되었다. 상기 활성층의 두께는 약 80 nm이다.

[0092] 단계 3 : 상기 제조예 1에서 제조된 금 나노클러스터 용액 0.085 mg을 아르곤 분위기하에 상기 산화아연으로 코팅된 전극 상에 60초 동안 5000rpm으로 스핀코팅하였다.

[0093] 단계 4 : 상기 양극으로 사용되는 은(Ag) 전극은 (Ag, 100nm)은 3 $\times 10^{-6}$ TORR 하에서 전도성 고분자층 상에서 열적 증발되었고, 금속 마스크(mask)를 사용하여 소자의 활성 표면적은 0.38$cm^2$ 이다.

[0094] <실시예 2> 유기 태양전지의 제조 2

[0095] 상기 실시예 1의 단계 2 및 3에 있어서,

[0096] 클로로벤젠/1,8-디요오드옥(0.97 ml/0.03 ml)내에 용해시킨 PTB7:$PC_{70}BM$ (8 mg:12 mg)을 상기 제조예 1에서 제조된 금 나노클러스터 용액 0.085 mg과 혼합한 후, 산화아연으로 코팅된 전극상에 40초 동안 1000rpm의 스핀 코팅법으로 증착하는 것을 제외하고는,

[0097] 실시예 1과 동일하게 수행하여 금 나노클러스터가 광활성층 내에 포함되는 태양전지를 제조하였다.

[0098] <실시예 3> 유기 태양전지의 제조 3

[0099] 상기 실시예 1의 단계 3에 있어서,

[0100] 제조예 1에서 제조된 금 나노클러스터 용액 0.085 mg을 아르곤 분위기하에서 상기 활성층 상에 60초 동안 5000 rpm으로 스핀코팅 하는 것을 제외하고는, 실시예 1과 동일하게 수행하여 금 나노클러스터가 활성층과 정공수송층 사이에 포함되는 태양전지를 제조하였다.

[0101] <실시예 4> 유기 태양전지의 제조 4

[0102] 상기 실시예 1의 단계 3에 있어서,

[0103] 상기 제조예 1에서 제조된 금 나노클러스터 0.085 mg을 700 μl의 IPA에 용해되어있는 70 μl의 PEDOT:PSS에 첨가하여 금 나노클러스터/PEDO:PSS 혼합용액을 제조한 후, 아르곤 분위기하에서 상기 활성층상에 60초 동안 5000 rpm으로 스핀코팅 하는 것을 제외하고는, 실시예 1과 동일하게 수행하여 금 나노클러스가 정공수송층 내로 포함되는 태양전지를 제조하였다.

[0104] <비교예 1>

[0105] 상기 실시예 1에 있어서, 단계 3을 제외하고는 실시예 1과 동일하게 수행하여 금 나노클러스터가 포함되지 않는 태양전지를 제조하였다.

[0106] <실험예 1>

[0107] 도 2는 상기 제조예 1에서 제조된 금 나노클러스터의 실제 크기를 나타낸 막대 그래프로서, 금 나노클러스터의 평균 크기가 약 1.6 nm인 것을 알 수 있다.

[0108] 또한 도 3은 제조예 1에서 제조된 금 나노클러스터(Au:SR)의 고해상도 투과전자현미경(High-resolution transmission electron microscopy)을 통해 관찰한 사진으로, 본 발명에 따라 제조되는 금속 나노클러스터는 도 1의 그림과 같은 구조 일 수 있다. 또한 티올레이트 리간드는 도 1에 나타낸 바와 같이 도데케인티올(Dodecanethiol)일 수 있다.

[0109] <실험예 2>

[0110] 상기 금속 산화물인 산화아연 나노 리플 구조를 원자힘 현미경(Atomic force microscopy, AFM)을 통해 관찰하였으며, 도 9에 나타내었다.

[0111] 상세하게는, 도 9(A)는 산화아연 리플 구조의 AFM 높이(heiht) 사진, 도 9(B)는 AFM 상(phase) 사진, (C)는 3D의 AFM 사진을 나타낸 것으로, 도 9를 통해 산화아연의 나노리플 구조를 확인할 수 있다.

[0112] <실험예 3>

[0113] 상기 제조예 1에서 제조된 금 나노클러스터를 이소프로필 알콜에 분산된 용액의 흡광도 및 광발광을 측정하였으며, 이를 도 4에 나타내었다.

[0114] 도 4(A)는 제조예 1에 있어서, 다양한 크기의 금 클러스터, 25 nm 크기의 금 나노입자 및 1 내지 5 nm 크기를 갖는 금 나노클러스터의 흡광도를 나타내었다.

[0115] 도 4(A)에서 볼 수 있듯이, 크기가 20 nm 이상인 금 나노입자는 플라즈몬 흡광도 피크가 530 nm 가까이에서 명확하게 관찰되었다. 제조예 1에서 제조된 1 내지 5 nm의 크기를 갖는 금 나노클러스터의 흡광도 스펙트럼은 450 nm 이하까지 특징이 나타났으며, sp-d 밴드 간 전환에 대응하는 360 nm에서의 작은 피크와, 390 nm에서 비교적 선명한 피크가 나타난 것을 확인할 수 있다.

[0116] 또한 다양한 크기의 금 클러스터의 경우, 플라스몬 흡광도 피크와 sp-d 밴드 흡광도 피크가 나타났다. 도 2(B)에 나타낸 바와 같이, 금 나노클러스터는 620 nm에서 발광을 보였다. 이와 같은 620 nm 가까이의 폭 넓은 발광 피크는 금속-리간드 전이와 부합된다.

[0117]

[0118] <실험예 4>

[0119] 상기 실시예 1 내지 4 및 비교예 1에서 제조된 태양전지의 구조를 도 5에 나타내었다.

[0120] 또한 실시예 1 내지 4 및 비교예 1에서 제조된 태양전지 소자의 전류 밀도-전압(J-V)곡선은 Keithley 2400A 소스 측정 단위를 사용하여 얻었고, 태양전지의 성능을 시험하기 위해 100 $mW/cm^2$ 의 AM 1,5G 시뮬레이트 조사 하에 XES-70S1S1 모델(SAN-EI ELECTRIC Co., LTD)을 사용하였다. 전류-밀도 곡선은 도 6에 나타내었으며, 그 결과를 표 1에 요약하였다.

표 1

[0121]

| 태양전지 | 광전환 효율 PCE(%) | 채움인자 FF | 개방전압 $V_{oc}$(V) | 단락전류밀도 $J_{sc}(mA/cm^2)$ |
|---|---|---|---|---|
| 비교예 1 | 7.41 | 0.64 | 0.75 | 15.87 |
| 실시예 1 | 8.15 | 0.65 | 0.75 | 16.94 |
| 실시예 2 | 8.87 | 0.66 | 0.77 | 17.14 |
| 실시예 3 | 9.15 | 0.70 | 0.76 | 17.24 |
| 실시예 4 | 8.21 | 0.63 | 0.75 | 17.27 |

[0122] 상기 표 1에 나타내었듯이 비교예 1에서 제조된 태양전지의 광전환효율(PCE)은 7.42 %이고, 단락전류밀도($J_{sc}$)는 15.87 $mA/cm^2$, 개방전압은($V_{oc}$) 0.75 V , 채움 인자(FF)는 0.64를 나타내었다.

[0123] 상기 실시예 1에서 제조된 태양전지의 단락전류밀도는 16.94 $mA/cm^2$, 개방전압은($V_{oc}$) 0.75 V , 채움 인자(FF)는 0.65 이며, 광전환효율은 8.15 %로 소폭 향상하였다. 실시예 2에서 제조된 태양전지의 개방전압은($V_{oc}$) 0.77 V, 채움 인자(FF)는 0.66 이이고, 17.14 $mA/cm^2$의 값의 향상된 단락전류밀도로 인하여 8.87 %의 높은 광전환효율을 얻었다.

[0124] 또한 실시예 3에서 제조된 태양전지의 경우 금 나노 클러스트의 소자 중에서 가장 높은 성능으로, 단락전류밀도는 17.24 $mA/cm^2$, 개방전압은 0.76V, 채움인자는 0.70을 나타냈내었으며, 9.15 %의 상당히 향상된 광전환효율을 보였다.

[0125] 한편, 실시예 4에서 제조된 태양전지는 광전환효율(PCE)은 8.21 %이고, 단락전류밀도는 17.27 $mA/cm^2$, 개방전압은 0.75 V , 채움인자는 0.63 을 나타내었다.

[0126] 따라서 상기 표 1에서 알 수 있듯이, 금속 나노클러스터를 사용한 실시예 1 내지 4의 태양전지는 금속 나노클러스터를 사용하지 않은 비교예 1 보다 상당히 성능이 향상된 것을 확인할 수 있다.

[0127] <실험예 5>

[0128] 금속 나노 클러스터의 광기전 성능의 효과를 알아보고자, 금속 나노클러스터의 유무에 따른 PTB7 및 PTB7:$PC_{70}BM$ 고분자 필름의 광발광 감쇠 분포를 시간 관련 단광자 계산법(time-correlated single photon counting ,TCSPC)을 이용하여 분석하였으며, 도 7에 나타내었다.

[0129] 상기 도 7(A)는 금속 나노클러스터가 포함되지 않은 PTB7 필름 및 금속 나노클러스터가 포함된 PTB7 필름의 광발광 감쇠 분포를 나타낸 것으로, 750 nm에서 관찰하였으며, 이에 따른 광발광 수명(PL lifetime) 및 부분의 세기(fractional intensities)를 표 2에 나타내었다.

표 2

[0130]

| 고분자 필름 | $t_1(f_1)$/ 나노초(ns) | $t_2(f_2)$/ 나노초(ns) | $\chi^2$ | $t_{평균}$/나노초 |
|---|---|---|---|---|
| PTB7 | 0.31 (0.55) | 0.10 (0.45) | 1.258 | 0.22 |
| 금 나노클러스터가 포함된 PTB7 | 0.37 (0.56) | 0.10 (0.44) | 1.330 | 0.25 |
| PTB7:$PC_{70}BM$ | 0.17 (0.40) | 0.06 (0.60) | 1.056 | 0.10 |
| 금 나노클러스터가 포함된 PTB7:$PC_{70}BM$ | 0.17 (0.40) | 0.06 (0.63) | 1.028 | 0.10 |

[0131] 광발광 감쇠 곡선은 샘플의 수명시간을 계산하기 위해 이중 지수 함수에 의해 그려진 것이다. 표 2의 $t_{평균}$는 중량 평균 엑시톤 수명시간으로 $f_1t_1$ 과 $f_2t_2$ 의 합으로 계산되며, 상기 $f_1$ 및 $f_2$ 는 부분 세기(fractional intensities) 이고, $t_1$ 및 $t_2$ 는 수명 시간을 나타낸다. 또한 $\chi^2$ 는 감소된 카이 제곱 값을 나타낸다.

[0132] 빠른 감쇠 성분은 완화된 전하이동 여기(relaxed charge transfer excitions)와 상관관계가 있다.

[0133] 상기 표 2에서 알 수 있듯이, 금속 나노클러스터 유무에 따른 PTB7 필름 모두 대략 100 피코초(ps) 정도에서 완화된 전하 이동 여기 형성의 시간 범위를 나타내었다. 또한 금속 나노클러스터가 포함된 PTB7필름의 광발광 수명시간은 310 피코초 에서 360 피코초까지 15 % 증가한 것을 확인할 수 있다.

[0134] 또한 도 8은 PTB7 및 PTB7:$PC_{70}B$의 자외선-가시광선영역의 흡광도 및 금 나노 클러스터의 광발광(PL)의 결과를 나타낸 그래프로써, 이는 금속 나노클러스터가 혼합된 필름이 Foster 에너지 전환을 위한 필요 조건을 충족시키는 증거가 된다.

[0135] 상기 표 2에 나타내었듯이 금속 나노클러스터가 포함된 PTB7필름의 긴 수명시간은 금속 나노클러스터로부터 PTB7 수여체까지 전하 이동에 기인한 것으로써, 엑시톤이 금 클러스터가 에너지 전환 과정에 의해 PTB7으로 이동시켰고, PTB7의 엑시톤의 수를 증가시켰다.

[0136] 그 결과 PTB7의 발광성 재조합의 가능성이 높아졌고, 이에 수명시간이 증가 되었다. 이와 같은 광발광 향상의 현상은, 금속 나노입자의 표면 공명을 기반으로 한 것과 매우 유사하나, 전체적으로는 다른 방법이다.

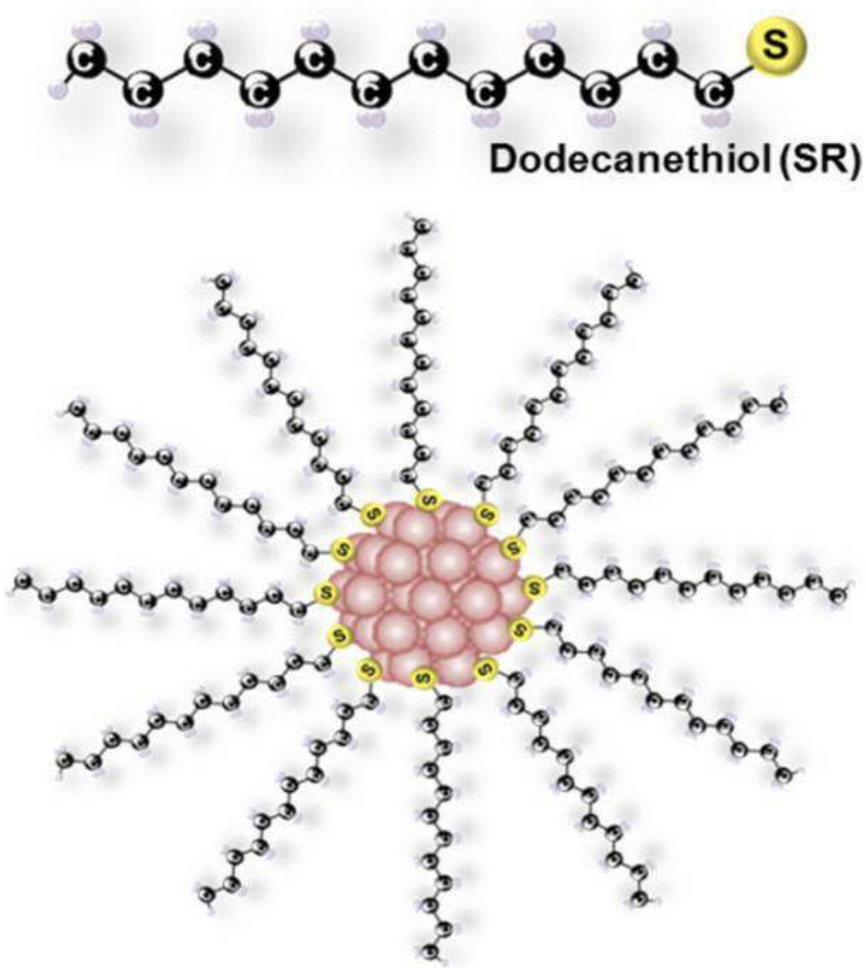
[0137] 도 7(B)는 금속 나노클러스터의 유무에 따른 PTB7:$PC_{70}BM$ 필름의 750 nm에서의 광발광 감쇠 분포를 나타내었다.

상기 결과로부터 벌크 이종 접합 필름에서의 PTB7 과 $PC_{70}BM$의 사이에서 효과적인 엑시톤 해리(dissociation)를 일으키는 것을 확인할 수 있다. 그러나 표 2에서 볼 수 있듯이, 금 나노클러스터가 포함된 $PC_{70}BM$:PTB7 필름과 금 나노클러스터가 불포함된 $PC_{70}BM$:PTB7 필름의 경우, 프랙션(fraction) 및 수명시간은 거의 동일한 것을 알 수 있다.

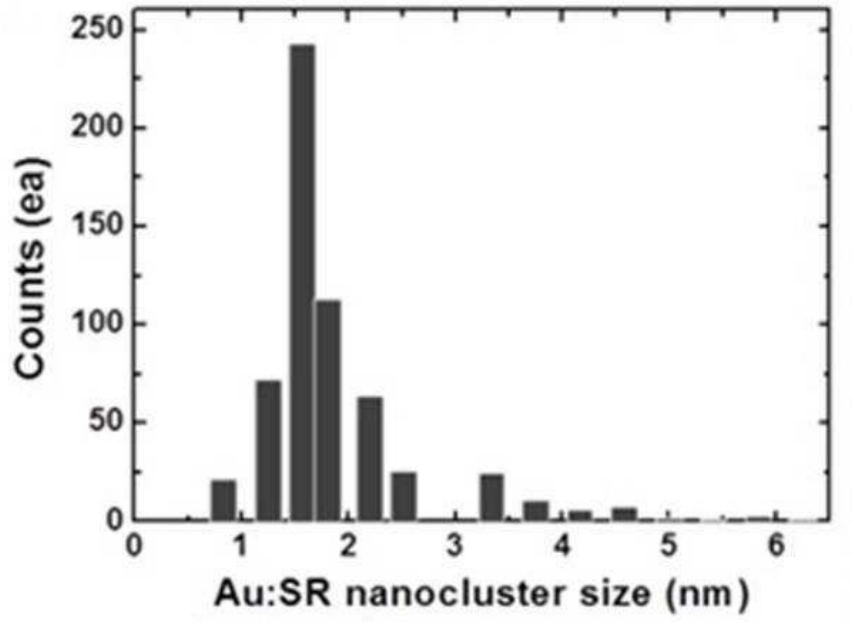
[0138] 또한 초기의 PTB7 단독 필름보다 금 나노클러스터가 포함된 PTB7필름의 수명시간이 더 길다는 것 또한 확인할 수 있다.

## 도면

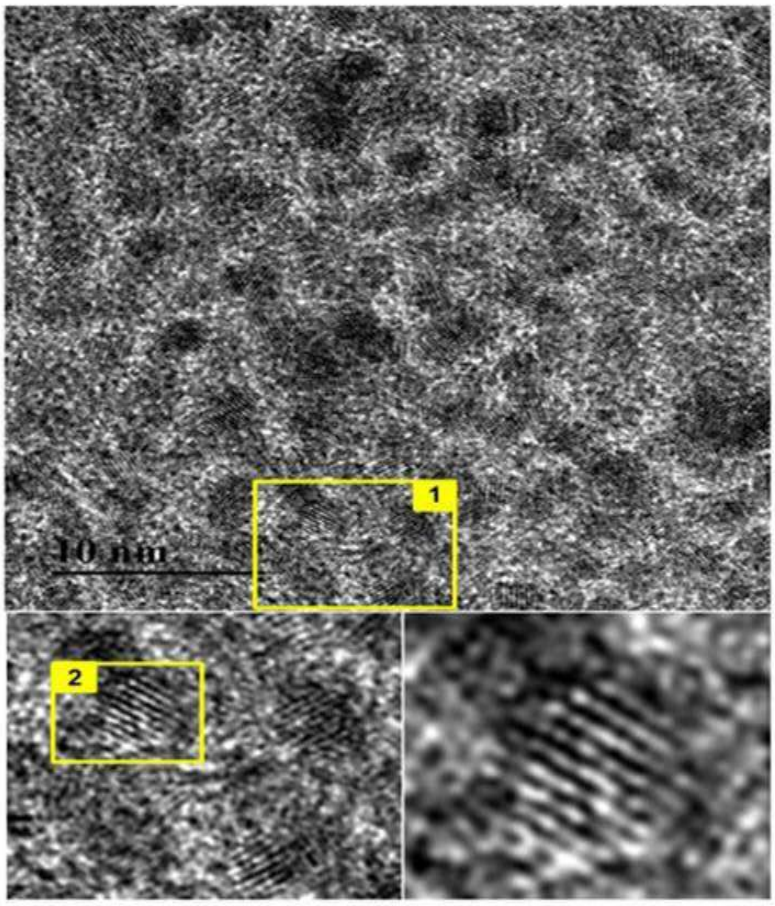
### 도면1



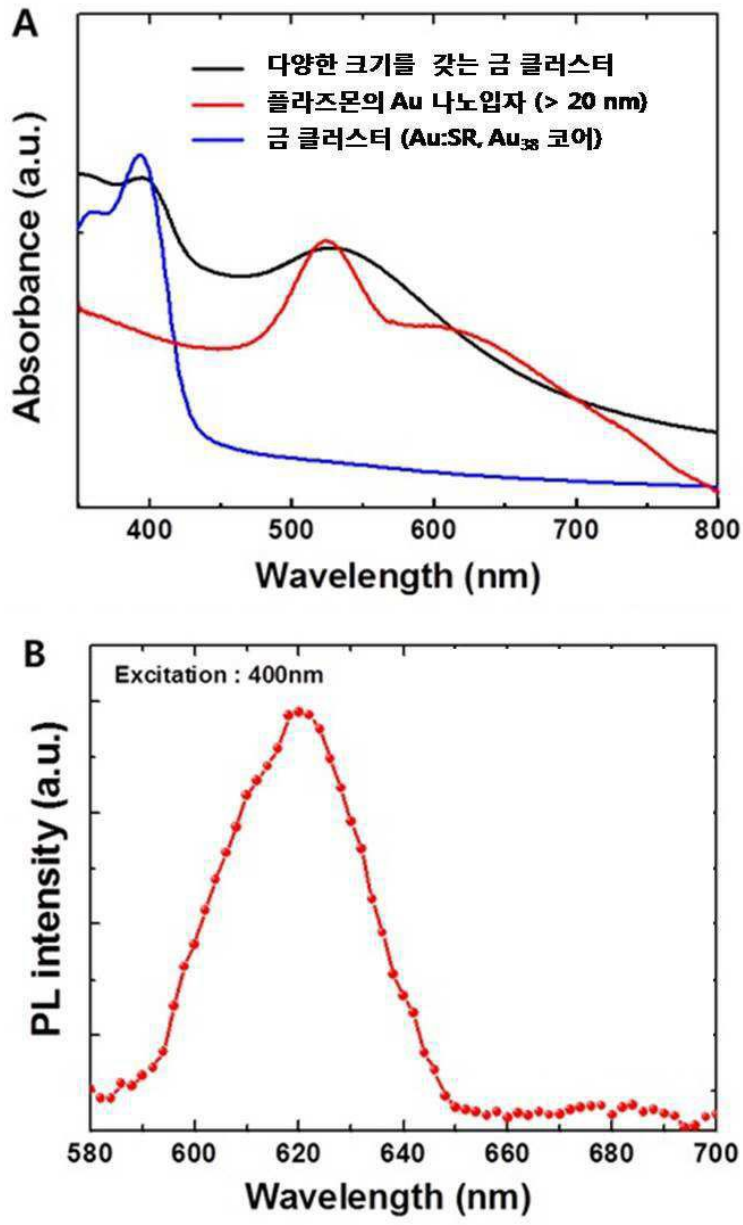
도면2


Counts (ea)
250
200
150
100
50
0
0
1
2
3
4
5
6
Au:SR nanocluster size (nm)

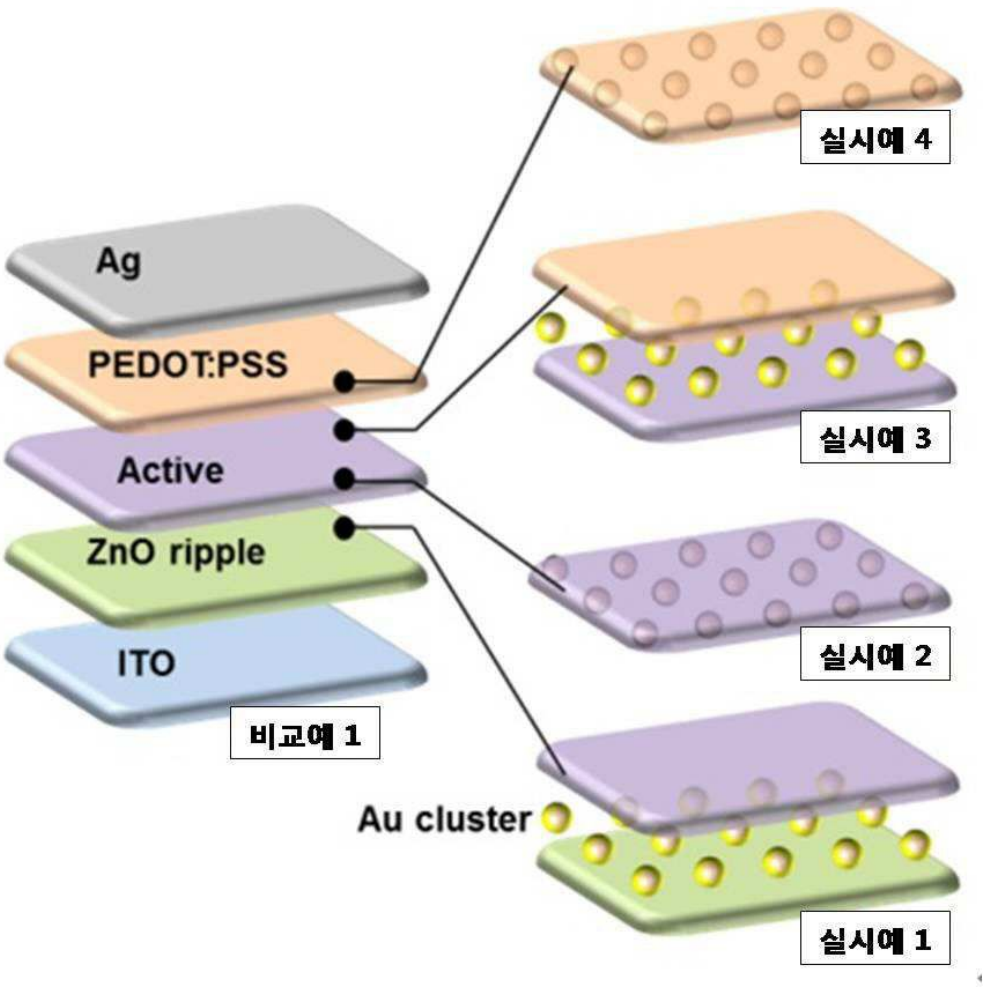
도면3


10 nm
1
2

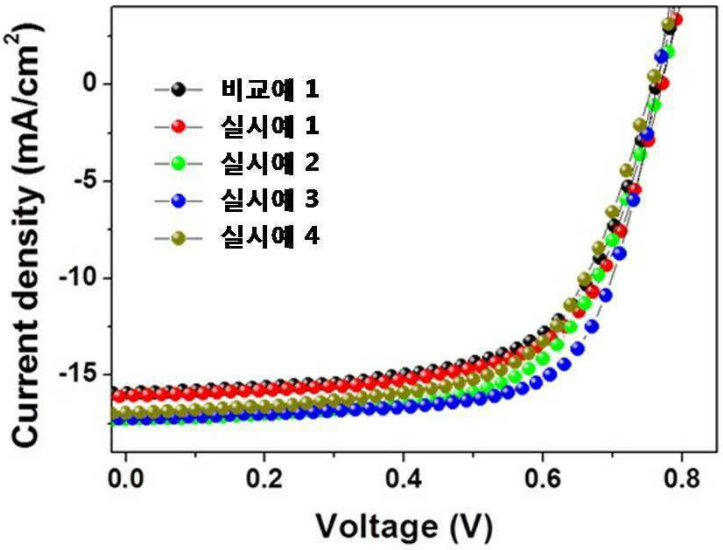
도면4


A
다양한 크기를 갖는 금 클러스터
플라즈몬의 Au 나노입자 (> 20 nm)
금 클러스터 (Au:SR, Au38 코어)
Absorbance (a.u.)
400
500
600
700
800
Wavelength (nm)
B
Excitation : 400nm
PL intensity (a.u.)
580
600
620
640
660
680
700
Wavelength (nm)

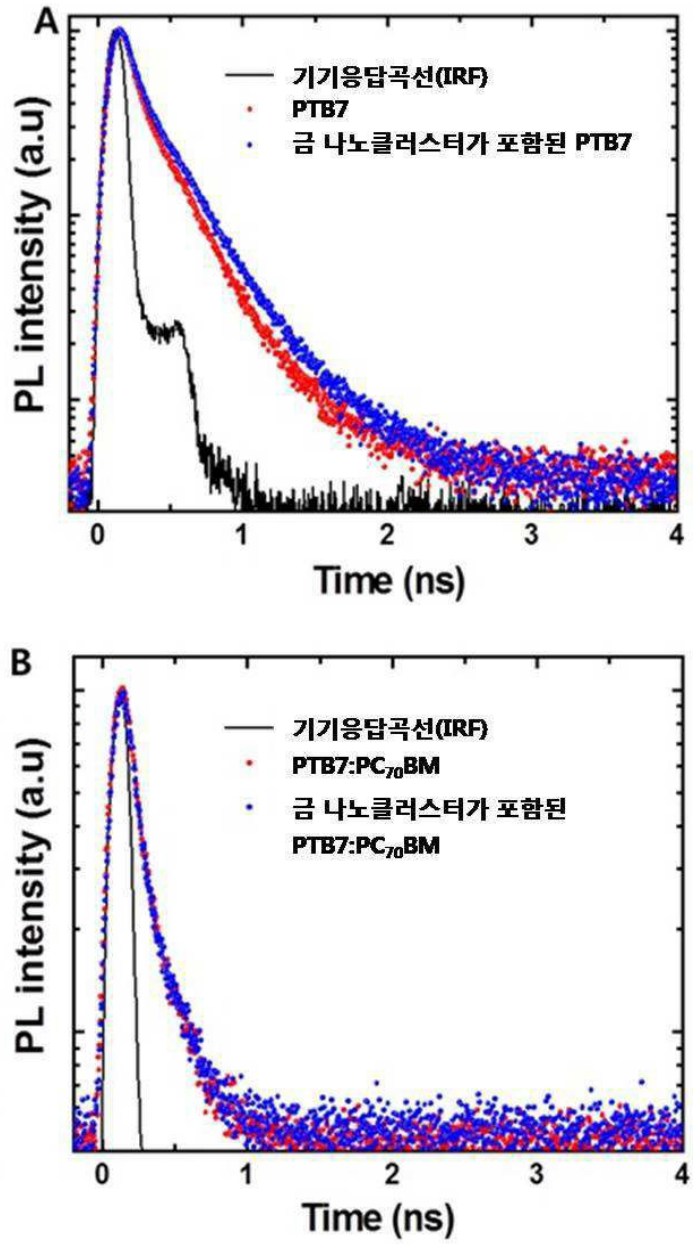
도면5


Ag
PEDOT:PSS
Active
ZnO ripple
ITO
비교예 1
Au cluster
실시예 4
실시예 3
실시예 2
실시예 1

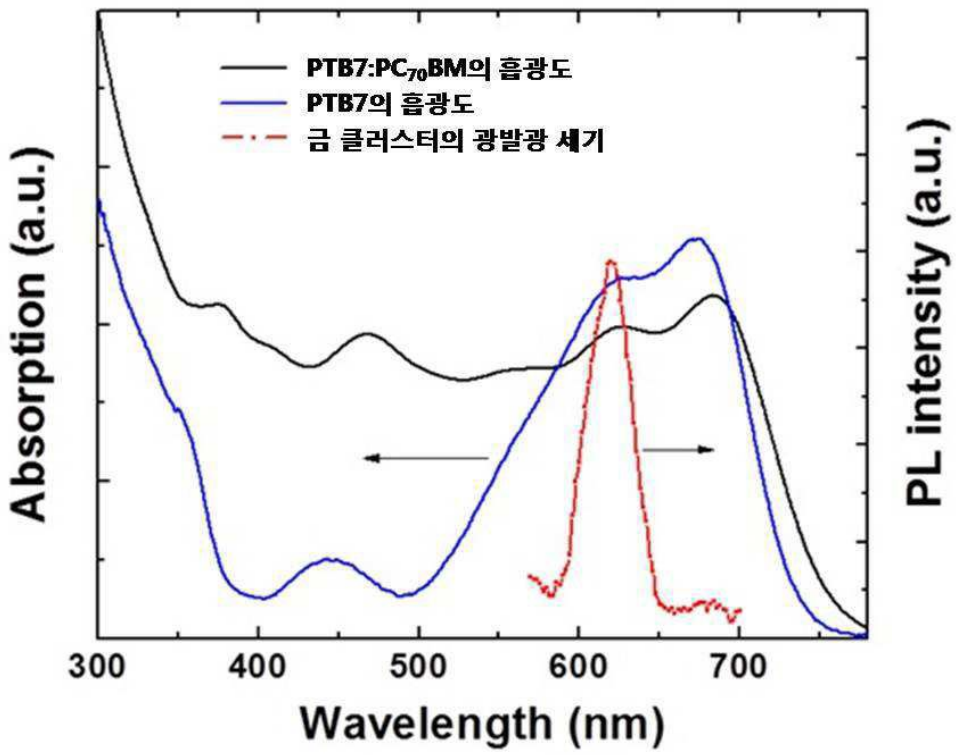
도면6


Current density (mA/cm$^2$)
0
-5
-10
-15
0.0
0.2
0.4
0.6
0.8
Voltage (V)
비교예 1
실시예 1
실시예 2
실시예 3
실시예 4

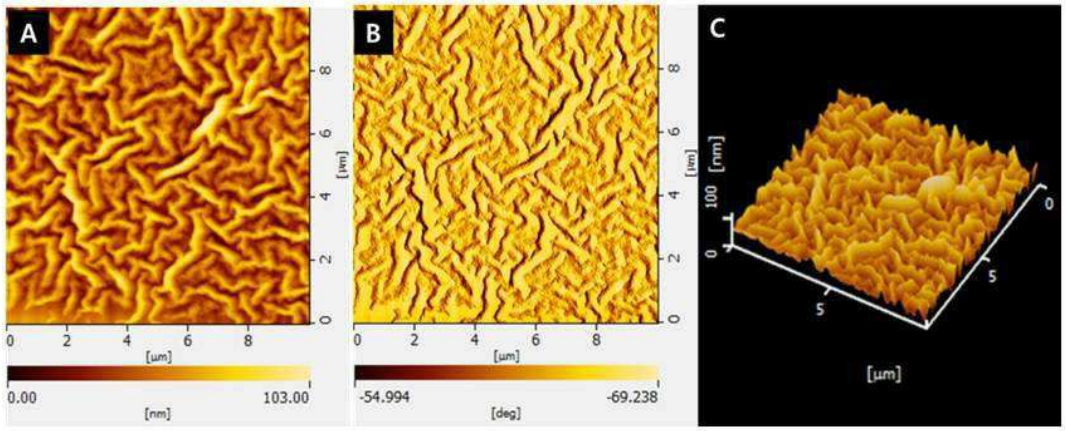
도면7


A
PL intensity (a.u)
기기응답곡선(IRF)
PTB7
금 나노클러스터가 포함된 PTB7
0
1
2
3
4
Time (ns)
B
PL intensity (a.u)
기기응답곡선(IRF)
PTB7:PC70BM
금 나노클러스터가 포함된
PTB7:PC70BM
0
1
2
3
4
Time (ns)

도면8


PTB7:PC70BM의 흡광도
PTB7의 흡광도
금 클러스터의 광발광 세기
Absorption (a.u.)
PL intensity (a.u.)
300
400
500
600
700
Wavelength (nm)

도면9


A
B
C
0.00
103.00
[nm]
-54.994
-69.238
[deg]
[µm]