

(19)日本国特許庁(JP)

(12)公表特許公報(A)

(11)公表番号

特表2023-510973

(P2023-510973A)

(43)公表日 令和5年3月15日(2023.3.15)

(51)国際特許分類	F I	テーマコード(参考)
H 0 1 L 31/055 (2014.01)	H 0 1 L 31/04 6 2 2	5 F 1 5 1
C 0 9 K 11/06 (2006.01)	C 0 9 K 11/06	

審査請求 未請求 予備審査請求 未請求 (全67頁)

(21)出願番号	特願2022-544125(P2022-544125)	(71)出願人	502243376 ボード オブ トラスティーズ オブ ミシガン ステート ユニバーシティ アメリカ合衆国 ミシガン州 4 8 8 2 4 イースト・ランシング
(86)(22)出願日	令和3年1月19日(2021.1.19)	(74)代理人	110000338 弁理士法人 HARAKENZO WOR LD PATENT & TRADEMA RK
(85)翻訳文提出日	令和4年9月16日(2022.9.16)	(72)発明者	ルント, サード, リチャード アール. アメリカ合衆国, 4 8 8 9 5 ミシガン 州, ウィリアムストン, トロッターズ レーン 1 4 0 0
(86)国際出願番号	PCT/US2021/013946	(72)発明者	ヤン, チェンチェン アメリカ合衆国, 4 8 8 4 2 ミシガン 州, トロッターズレーン 1 4 0 0
(87)国際公開番号	WO2021/150504		
(87)国際公開日	令和3年7月29日(2021.7.29)		
(31)優先権主張番号	62/963,455		
(32)優先日	令和2年1月20日(2020.1.20)		
(33)優先権主張国・地域又は機関	米国(US)		
(81)指定国・地域	AP(BW,GH,GM,KE,LR,LS,MW,MZ,NA, ,RW,SD,SL,ST,SZ,TZ,UG,ZM,ZW),EA(AM,AZ,BY,KG,KZ,RU,TJ,TM),EP(AL,A T,BE,BG,CH,CY,CZ,DE,DK,EE,ES,FI,FR ,GB,GR,HR,HU,IE,IS,IT,LT,LU,LV,MC, 最終頁に続く		

(54)【発明の名称】 高性能近赤外取込み透明発光型太陽光集光器

(57)【要約】

透明発光型太陽光集光器(TLSC)(10)を提供する。TLSCは、発光団、および、発光団(26)から発せられる光を導く導波路(12)を含む。TLSCの光利用効率(LUE)は約1以上である。

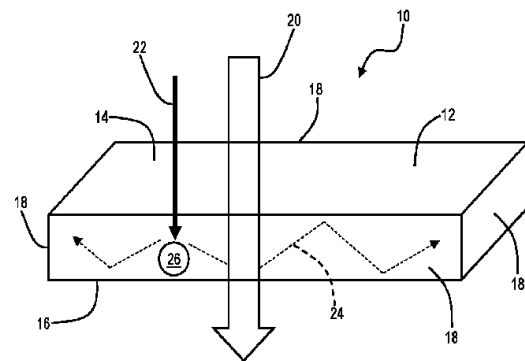


Fig. 1B

を通過する光を前記導波路が受容し、

空気によって満たされている、または、視覚的に透明である材料によって満たされているギャップによって前記導波路と前記第2の導波路とが分離されている、請求項7に記載のT L S C。

【請求項12】

前記視覚的に透明である材料の屈折率(n)が約1.3以下である、請求項11に記載のT L S C。

【請求項13】

前記第2の発光団の量子収率(QY)が約50%以上である、請求項11に記載のT L S C。

10

【請求項14】

前記第2の発光団は、

最大吸収極大が約450nm以下であり、

最大ピーク発光が約650nm以上である、請求項11に記載のT L S C。

【請求項15】

前記第2の発光団がナノクラスターを含む、請求項14に記載のT L S C。

【請求項16】

入射光がまず前記第2の導波路を通過してから前記第1の導波路を通過するように、前記導波路および前記第2の導波路が構成されている、請求項14に記載のT L S C。

【請求項17】

20

透明発光型太陽光集光器(T L S C)であって、

発光団、および、

前記発光団から発せられる光を導く導波路、を含み、

T L S Cの電力変換効率(PCE)が約1%以上であり、

|b*|値が約25以下である、T L S C。

【請求項18】

平均可視光透過率が約50%以上であり、

前記導波路への垂直入射における演色評価数(CRI)が約80以上である、請求項17に記載のT L S C。

【請求項19】

30

光利用効率(LUE)が約1以上である、請求項17に記載のT L S C。

【請求項20】

平均可視光透過率(AVT)が約50%以上である、請求項17に記載のT L S C。

【請求項21】

前記発光団が、前記導波路内に埋め込まれている、前記導波路上に直接配置されている、または、前記導波路上に配置されているフィルムに備えられている、請求項17に記載のT L S C。

【請求項22】

前記導波路に作動可能に連結されている光起電構成要素をさらに含む、請求項17に記載のT L S C。

40

【請求項23】

前記発光団の最大吸収極大および最大ピーク発光が約650nm以上である、請求項17に記載のT L S C。

【請求項24】

ヘイズが約10%以下である、請求項23に記載のT L S C。

【請求項25】

前記発光団が、非フラーレンアクセプタ、ボロン-ジピロメテン(BODIPY)、またはそれらの組合せである、請求項23に記載のT L S C。

【請求項26】

前記発光団が前記非フラーレンアクセプタであり、

50

前記非フラレンアクセプタが、COi8DFIC、3,9-ビス(2-メチレン-(3-(1,1-ジシアノメチレン)-インダノン))-5,5,11,11-テトラキス(4-ヘキシルフェニル)-ジチエノ[2,3-d:2',3'-d']-s-インダセノ[1,2-b:5,6-b']ジチオフエン)(ITIC)、2,2'-[[4,4,9,9-テトラキス(4-ヘキシルフェニル)-4,9-ジヒドロ-s-インダセノ[1,2-b:5,6-b']ジチオフエン-2,7-ジイル]ビス[[4-[(2-エチルヘキシル)オキシ]-5,2-チオフエンジイル]メチリジン(5,6-ジフルオロ-3-オキソ-1H-インデン-2,1(3H)-ジイリデン)]]ビス[プロパンジニトリル](IEICO-4F)、またはそれらの組合せである、請求項25に記載のT L S C。

【請求項27】

10

第2の発光団、および、

前記第2の発光団から発せられる光を導く第2の導波路、をさらに含み、

前記第2の導波路が前記導波路と隣接して配置されることによって、前記第2の導波路を通過する光を前記導波路が受容し、

空気によって満たされている、または、視覚的に透明である材料によって満たされているギャップによって前記導波路と前記第2の導波路とが分離されている、請求項23に記載のT L S C。

【請求項28】

前記視覚的に透明である材料の屈折率(n)が約1.3以下である、請求項27に記載のT L S C。

20

【請求項29】

前記第2の発光団の量子収率(QY)が約50%以上である、請求項27に記載のT L S C。

【請求項30】

前記第2の発光団は、

最大吸収極大が約450nm以下であり、

最大ピーク発光が約650nm以上である、請求項27に記載のT L S C。

【請求項31】

前記第2の発光団がナノクラスターを含む、請求項30に記載のT L S C。

【請求項32】

入射光がまず前記第2の導波路を通過してから前記第1の導波路を通過するように、前記導波路および前記第2の導波路が構成されている、請求項30に記載のT L S C。

30

【請求項33】

最大吸収極大および最大ピーク発光が共に約650nm以上であるポリチオフエンを含む発光団と、

前記発光団から発せられる光を導く導波路と、を含む、透明発光型太陽光集光器(T L S C)。

【請求項34】

光利用効率(LUE)が約1以上であり、

平均可視光透過率(AVT)が約50%以上であり、

前記導波路への垂直入射における演色評価数(CRI)が約80以上である、請求項33に記載のT L S C。

40

【請求項35】

電力変換効率(PCE)が約1%以上であり、

|b*|値が約25以下である、請求項33に記載のT L S C。

【請求項36】

前記発光団が、前記導波路内に埋め込まれている、前記導波路上に直接配置されている、または、前記導波路上に配置されているフィルムに備えられている、請求項33に記載のT L S C。

【請求項37】

50

前記導波路に作動可能に連結されている光起電構成要素をさらに含む、請求項 33 に記載の T L S C。

【請求項 38】

ヘイズが約 10% 以下である、請求項 33 に記載の T L S C。

【請求項 39】

前記ポリチオフェンが、2, 2'-[[4, 4, 11, 11-テトラキス(4-ヘキシルフェニル)-4, 11-ジヒドロチエノ[2', 3':4, 5]チエノ[2, 3-d]チエノ[2', 3', 4', 5':4', 5']チエノ[2', 3':4, 5]チエノ[3, 2-b]ピラン-2, 9-ジイル]ビス[メチリジン(5, 6-ジフルオロ)(CO_i8DFIC)、3, 9-ビス(2-10-メチレン-(3-(1, 1-ジシアノメチレン)-インダノン))-5, 5, 11, 11-テトラキス(4-ヘキシルフェニル)-ジチエノ[2, 3-d:2', 3'-d']-s-インダセノ[1, 2-b:5, 6-b']ジチオフェン)(ITIC)、2, 2'-[[4, 4, 9, 9-テトラキス(4-ヘキシルフェニル)-4, 9-ジヒドロ-s-インダセノ[1, 2-b:5, 6-b']ジチオフェン-2, 7-ジイル]ビス[[4-(2-エチルヘキシル)オキシ]-5, 2-チオフェンジイル]メチリジン(5, 6-ジフルオロ-3-オキソ-1H-インデン-2, 1(3H)-ジイリデン)]]ビス[プロパンジニトリル](IEICO-4F)、またはそれらの組合せである、請求項 33 に記載の T L S C。

【請求項 40】

最大吸収極大および最大ピーク発光が共に約 650 nm 以上であるボロン-ジピロメテン(BODIPY)を含む第 2 の発光団と、

前記発光団および前記第 2 の発光団の両方から発せられる光を導く導波路と、をさらに含む、請求項 33 に記載の T L S C。

【請求項 41】

第 2 の発光団、および、

前記第 2 の発光団から発せられる光を導く第 2 の導波路、をさらに含み、

前記第 2 の導波路が前記導波路と隣接して配置されることによって、前記第 2 の導波路を通過する光を前記導波路が受容し、

空気層または視覚的に透明である材料を含む層によって前記導波路と前記第 2 の導波路とが分離されている、請求項 33 に記載の T L S C。

【請求項 42】

前記視覚的に透明である材料の屈折率(n)が約 1.3 以下である、請求項 41 に記載の T L S C。

【請求項 43】

前記第 2 の発光団の量子収率(QY)が約 50% 以上である、請求項 41 に記載の T L S C。

【請求項 44】

前記第 2 の発光団は、

最大吸収極大が約 450 nm 以下であり、

最大ピーク発光が約 650 nm 以上である、請求項 41 に記載の T L S C。

【請求項 45】

前記第 2 の発光団がナノクラスターを含む、請求項 44 に記載の T L S C。

【請求項 46】

入射光がまず前記第 2 の導波路を通過してから前記第 1 の導波路を通過するように、前記導波路および前記第 2 の導波路が構成されている、請求項 41 に記載の T L S C。

【請求項 47】

最大吸収極大および最大ピーク発光が共に約 650 nm 以上であるボロン-ジピロメテン(BODIPY)を含む第 3 の発光団と、

前記発光団および前記第 3 の発光団の両方から発せられる光を導く導波路と、をさらに

20

30

40

50

含む、請求項 4 1 に記載の T L S C。

【請求項 4 8】

最大吸収極大および最大ピーク発光が共に約 6 5 0 n m 以上であるボロン - ジピロメテン (B O D I P Y) を含む発光団と、

前記発光団から発せられる光を導く導波路と、を含む、透明発光型太陽光集光器 (T L S C)。

【請求項 4 9】

光利用効率 (L U E) が約 1 以上であり、

平均可視光透過率 (A V T) が約 5 0 % 以上であり、

前記導波路への垂直入射における演色評価数 (C R I) が約 8 0 以上である、請求項 4 8 に記載の T L S C。 10

【請求項 5 0】

電力変換効率 (P C E) が約 1 % 以上であり、

| b * | 値が約 2 5 以下である、請求項 4 8 に記載の T L S C。

【請求項 5 1】

前記発光団が、前記導波路内に埋め込まれている、前記導波路上に直接配置されている、または、前記導波路上に配置されているフィルムに備えられている、請求項 4 8 に記載の T L S C。

【請求項 5 2】

前記導波路に作動可能に連結されている光起電構成要素をさらに含む、請求項 4 8 に記載の T L S C。 20

【請求項 5 3】

ヘイズが約 1 0 % 以下である、請求項 4 8 に記載の T L S C。

【請求項 5 4】

最大吸収極大および最大ピーク発光が共に約 6 5 0 n m 以上であるポリチオフエンを含む第 2 の発光団をさらに含み、

前記ポリチオフエンが、2, 2' - [[4, 4, 1 1, 1 1 - テトラキス (4 - ヘキシルフェニル) - 4, 1 1 - ジヒドロチエノ [2', 3' : 4, 5] チエノ [2, 3 - d] チエノ [2', 3', 4', 5' : 4', 5', 6', 7'] チエノ [2', 3', 4', 5' : 4', 5', 6', 7'] チエノ [2', 3' : 4, 5] チエノ [3, 2 - b] ピラン - 2, 9 - シクロピラン] ビス [メチリジン (5, 6 - ジフルオロ) (C O _i 8 D F I C)、3, 9 - ビス (2 - メチレン - (3 - (1, 1 - ジシアノメチレン) - インダノン)) - 5, 5, 1 1, 1 1 - テトラキス (4 - ヘキシルフェニル) - ジチエノ [2, 3 - d : 2', 3' - d'] - s - インダセノ [1, 2 - b : 5, 6 - b'] ジチオフエン) (I T I C)、2, 2' - [[4, 4, 9, 9 - テトラキス (4 - ヘキシルフェニル) - 4, 9 - ジヒドロ - s - インダセノ [1, 2 - b : 5, 6 - b'] ジチオフエン - 2, 7 - ジイル] ビス [[4 - [(2 - エチルヘキシル) オキシ] - 5, 2 - チオフエンジイル] メチリジン (5, 6 - ジフルオロ - 3 - オキソ - 1 H - インデン - 2, 1 (3 H) - ジイリデン)]] ビス [プロパンジニトリル] (I E I C O - 4 F)、またはそれらの組合せであり、

前記導波路が、前記発光団および前記第 2 の発光団の両方から発せられる光を導く、請求項 4 8 に記載の T L S C。 40

【請求項 5 5】

第 2 の発光団、および、

前記第 2 の発光団から発せられる光を導く第 2 の導波路、をさらに含み、

前記第 2 の導波路が前記導波路と隣接して配置されることによって、前記第 2 の導波路を通過する光を前記導波路が受容し、

空気層または視覚的に透明である材料を含む層によって前記導波路と前記第 2 の導波路とが分離されている、請求項 4 8 に記載の T L S C。

【請求項 5 6】

前記視覚的に透明である材料の屈折率 (n) が約 1 . 3 以下である、請求項 5 5 に記載 50

前記第 1 の発光団は、最大吸収極大が約 450 nm 以下であり、最大ピーク発光が約 650 nm 以上である、請求項 64 に記載の T L S C。

【請求項 66】

前記第 1 の発光団がナノクラスターを含む、請求項 65 に記載の T L S C。

【請求項 67】

最大吸収極大および最大ピーク発光が約 650 nm 以上である前記第 2 の発光団が、ポリチオフェン、ボロン - ジピロメテン (B O D I P Y)、またはそれらの組合せを含む、請求項 66 に記載の T L S C。

【請求項 68】

前記第 2 の発光団がポリチオフェンを含み、

10

前記ポリチオフェンが、2, 2' - [[4, 4, 11, 11 - テトラキス (4 - ヘキシルフェニル) - 4, 11 - ジヒドロチエノ [2', 3' : 4, 5] チエノ [2, 3 - d] チエノ [2', 3', 4', 5' : 4', 5', 6', 7'] チエノ [2', 3' : 4, 5] チエノ [3, 2 - b] ピラン - 2, 9 - ジイル] ビス [メチリジン (5, 6 - ジフルオロ) (C O _i 8 D F I C)、3, 9 - ビス (2 - メチレン - (3 - (1, 1 - ジシアノメチレン) - インダノン)) - 5, 5, 11, 11 - テトラキス (4 - ヘキシルフェニル) - ジチエノ [2, 3 - d : 2', 3' - d'] - s - インダセノ [1, 2 - b : 5, 6 - b'] ジチオフェン) (I T I C)、2, 2' - [[4, 4, 9, 9 - テトラキス (4 - ヘキシルフェニル) - 4, 9 - ジヒドロ - s - インダセノ [1, 2 - b : 5, 6 - b'] ジチオフェン - 2, 7 - ジイル] ビス [[4 - [(2 - エチルヘキシル) オキシ] - 5, 2 - チオフェンジイル] メチリジン (5, 6 - ジフルオロ - 3 - オキソ - 1 H - インデン - 2, 1 (3 H) - ジイリデン)]] ビス [プロパンジニトリル] (I E I C O - 4 F)、またはそれらの組合せである、請求項 67 に記載の T L S C。

20

【請求項 69】

光利用効率 (L U E) が約 1 以上である、請求項 62 に記載の T L S C。

【請求項 70】

電力変換効率 (P C E) が約 1 % 以上である、請求項 62 に記載の T L S C。

【請求項 71】

| b * | 値が約 2.5 以下である、請求項 62 に記載の T L S C。

30

【請求項 72】

ヘイズが約 10 % 以下である、請求項 62 に記載の T L S C。

【請求項 73】

平均可視光透過率 (A V T) が約 50 % 以上である、請求項 62 に記載の T L S C。

【請求項 74】

前記導波路への垂直入射における演色評価数 (C R I) が約 80 以上である、請求項 62 に記載の T L S C。

【請求項 75】

前記第 1 の導波路の第 1 の端部および前記第 2 の導波路の第 2 の端部に作動可能に連結されている光起電構成要素をさらに含む、請求項 62 に記載の T L S C。

40

【請求項 76】

前記第 1 の発光団が、前記第 1 の導波路内に埋め込まれている、前記第 1 の導波路上に直接配置されている、または、前記第 1 の導波路上に配置されている；および、

前記第 2 の発光団が、前記第 2 の導波路内に埋め込まれている、前記第 2 の導波路上に直接配置されている、または、前記第 2 の導波路上に配置されている、請求項 62 に記載の T L S C。

【発明の詳細な説明】

【0001】

〔関連出願の相互参照〕

本出願は、2020年1月20日に提出された米国仮出願第 62 / 963, 455 号の

50

優先権を主張する。上記出願の開示の全体が、参照により本明細書に組み込まれる。

【0002】

〔政府の権利〕

本発明は、政府の支援を受けて成されたものである（国立科学財団による助成金番号第1702591号）。本発明において、政府は一定の権利を有している。

【0003】

〔技術分野〕

本開示は、透明発光型太陽光集光器に関する。

【0004】

〔背景〕

本セクションでは、本開示に関する背景情報を提供する。しかし、これらは必ずしも従来技術であるとは限らない。

【0005】

太陽光取込みシステム（solar-harvesting system）を建物のエンベロップ（building envelope）、車両の窓およびパネル、ならびに電子ディスプレイを含む建築物に統合することは、再生可能な太陽エネルギーを利用するための実用的なアプローチを提供する。しかしながら、コスト、建築インピーダンス、および主に重要なことに、美観のために、建築物およびその周囲に従来からの太陽モジュールを取付けることに関連する困難さによって、建築物における太陽光取込みシステムの広範な採用は著しく妨げられている。

【0006】

透明LSC（TLSC）を含む発光型太陽光集光器（「LSC」）の概念が知られており、燐光および蛍光発光団の効率の最近の進歩に伴い、LSCシステムの効率は7.1%に増加している。光の光学的集光は、システム全体の変換効率を10パーセント未満に制限するが（LSC積層なし）、必要とされる高価な太陽電池の面積を劇的に減少させることができ、全体の設置コストを下げ、太陽電池の表面積に対する発電の割合を増加させる。モジュールコストおよびシステムコストのバランスをそれぞれ左右するガラスおよび土地のコストが高いため、性能が向上し、モジュールコストが低くなる可能性があるにもかかわらず、このようなLSCがソーラーファームの実施において採用されることは稀である。さらに、LSCを、建物および車両用の窓として、ならびに電子デバイス用のディスプレイとして利用することに関心が示されている。しかしながら、今日まで、これらのシステムの多くは、スペクトルの可視部分における吸収および発光（グロー）に限定されており、このようなデバイスの広範な採用を妨げている。例えば、窓の目的は、自然光を視野と共に提供することであって、多くの人々にとって着色されたガラスの背後で作業することは好ましくない。このため、高水準の無色透明性が、至るところでの採用には望ましい。

【0007】

LSCの性能は以下の構成要素の効率によるものと理解することができる：発光団フォトルミネセンス効率（量子収率）、太陽スペクトル吸収効率、導波（捕捉）効率、太陽電池の効率、および移送（再吸収）効率。最も高いLSCの性能は、再吸収（ストークスシフト）損失を減らし、スペクトルにわたる全体の吸収効率を向上させるために作用する、燐光有機分子または複数の蛍光団（量子ドットまたは有機色素、等）の混合物を利用する。大きな形状のLSCは、効率を5%未満に制限する、相当量の再吸収損失を受けると、報告された最も高い効率（6~7%）のいくつかは、比較的小さい板（0.1m²未満）に対するものである。

【0008】

LSCは、特に大きな形状の板に対して、再吸収損失によって最も制限されることが、長く認知されている。実際、LSCに関する研究は、数ミクロン未満の厚さの純フィルム（neat film）の色素のみに適用可能な、有機蛍光体のストークスシフトの向上、ストークスシフトまたは共鳴シフトを人為的に向上させる複数の色素最適化を通じた、これらの再吸収損失の削減に焦点が当てられている。

10

20

30

40

50

【 0 0 0 9 】

透明な太陽光取込み建築物を構築するための以前の努力は、(1) 典型的には強い着色もしくは限定された透過性を有するか、または効率と透明性との間に固有のトレードオフを有する、半透明の薄膜光起電池、(2) 可視光において吸収または発光する着色発色団を組み込んでいる L S C、(3) 直接光のみを収集し、太陽光追跡を必要とする波長依存性光学系を使用する光学システム、あるいは(4) 許容できないレベルのヘイズを有することに焦点が当てられている。これらすべてのアプローチは、美観上の性質、嵩高性、または相当量の透明性の制限のために、窓の適用のためのこれらの可能性が激しく制限される。これらのアプローチは、従来のデバイスにおいては同時に最適化することができない、電力変換効率(P C E)と可視光透過率(V T)との間の固有のトレードオフを受ける。可視光スペクトル内に最大の吸収を有する、典型的な有機光起電池(P V)によって、建築物の採用はさらに阻害され、演色評価数(C R I)の低下、強い着色および自然光としての品質の欠如を招く。したがって、自然であり、着色されていない光を提供する、効率的高性能である T L S Cを開発する必要性が残っている。

10

【 0 0 1 0 】

〔 概要 〕

本セクションでは、本開示の概要を提供する。本セクションは、本開示の範囲または特徴点のすべてを包括的に開示するものではない。

【 0 0 1 1 】

本技術は、高性能近赤外取込み透明発光型太陽光集光器を提供する。

20

【 0 0 1 2 】

種々の態様において、本技術は、透明発光型太陽光集光器(T L S C)であって、発光団、および、上記発光団から発せられる光を導く導波路、を含み、T L S Cの光利用効率(L U E)が約 1 以上である、T L S Cを提供する。

【 0 0 1 3 】

一態様において、上記 T L S C は、平均可視光透過率(A V T)が約 5 0 % 以上であり、上記導波路への垂直入射における演色評価数(C R I)が約 8 0 以上である。

【 0 0 1 4 】

一態様において、上記 T L S C は、電力変換効率(P C E)が約 1 % 以上であり、| b * | 値が約 2 5 以下である。

30

【 0 0 1 5 】

一態様において、上記 T L S C は、平均可視光透過率(A V T)が約 6 0 % 以上である。

【 0 0 1 6 】

一態様において、上記発光団は、前記導波路内に埋め込まれている、上記導波路上に直接配置されている、または、上記導波路上に配置されているフィルムに備えられている。

【 0 0 1 7 】

一態様において、上記 T L S C は、上記導波路に作動可能に連結されている光起電構成要素をさらに含む。

【 0 0 1 8 】

一態様において、上記発光団は、最大吸収極大(strongest absorbance maximum)および最大ピーク発光(strongest peak emission)が約 6 5 0 n m 以上である。

40

【 0 0 1 9 】

一態様において、上記 T L S C は、ヘイズが約 1 0 % 以下である。

【 0 0 2 0 】

一態様において、上記発光団は、非フラーレンアクセプタ、ポロン - ジピロメテン(B O D I P Y)、またはそれらの組合せである。

【 0 0 2 1 】

一態様において、上記発光団は非フラーレンアクセプタである。上記非フラーレンアクセプタは、2, 2' - [[4, 4, 1 1, 1 1 - テトラキス(4 - ヘキシルフェニル) -

50

4, 11 - ジヒドロチエノ [2', 3' : 4, 5] チエノ [2, 3 - d] チエノ [2', 3', 4', 5', 6', 7', 8', 9', 10', 11'] チエノ [2', 3', 4', 5', 6', 7', 8', 9', 10', 11'] ピラノ [2', 3', 4', 5', 6', 7', 8', 9', 10', 11'] チエノ [2', 3' : 4, 5] チエノ [3, 2 - b] ピラン - 2, 9 - ジイル] ビス [メチリジン (5, 6 - ジフルオロ) (C O i 8 D F I C)、3, 9 - ビス (2 - メチレン - (3 - (1, 1 - ジシアノメチレン) - インダノン)) - 5, 5, 11, 11 - テトラキス (4 - ヘキシルフェニル) - ジチエノ [2, 3 - d : 2', 3' - d'] - s - インダセノ [1, 2 - b : 5, 6 - b'] ジチオフエン) (I T I C)、2, 2' - [[4, 4, 9, 9 - テトラキス (4 - ヘキシルフェニル) - 4, 9 - ジヒドロ - s - インダセノ [1, 2 - b : 5, 6 - b'] ジチオフエン - 2, 7 - ジイル] ビス [[4 - [(2 - エチルヘキシル) オキシ] - 5, 2 - チオフエンジイル] メチリジン (5, 6 - ジフルオロ - 3 - オキソ - 1 H - インデン - 2, 1 (3 H) - ジイリデン)]] ビス [プロパンジニトリル] (I E I C O - 4 F)、またはそれらの組合せである。

10

【 0 0 2 2 】

一態様において、上記 T L S C は、第 2 の発光団、および、上記第 2 の発光団から発せられる光を導く第 2 の導波路、をさらに含み、上記第 2 の導波路が上記導波路と隣接して配置されることによって、上記第 2 の導波路を通過する光を上記導波路が受容し、空気によって満たされている、または、視覚的に透明である材料によって満たされているギャップによって上記導波路と上記第 2 の導波路とが分離されている。

【 0 0 2 3 】

一態様において、上記視覚的に透明である材料は、屈折率 (n) が約 1 . 3 以下である。

20

【 0 0 2 4 】

一態様において、上記第 2 の発光団は、量子収率 (Q Y) が約 5 0 % 以上である。

【 0 0 2 5 】

一態様において、上記第 2 の発光団は、最大吸収極大が約 4 5 0 n m 以下であり、最大ピーク発光が約 6 5 0 n m 以上である。

【 0 0 2 6 】

一態様において、上記第 2 の発光団は、ナノクラスターを含む。

【 0 0 2 7 】

一態様において、上記導波路および上記第 2 の導波路は、入射光がまず前記第 2 の導波路を通過してから前記第 1 の導波路を通過するように構成されている。

30

【 0 0 2 8 】

種々の態様において、本技術は、透明発光型太陽光集光器 (T L S C) であって、発光団、および、上記発光団から発せられる光を導く導波路、を含み、T L S C の電力変換効率 (P C E) が約 1 % 以上であり、 $|b^*|$ 値が約 2 5 以下である、T L S C も提供する。

【 0 0 2 9 】

一態様において、上記 T L S C は、平均可視光透過率が約 5 0 % 以上であり、上記導波路への垂直入射における演色評価数 (C R I) が約 8 0 以上である。

【 0 0 3 0 】

一態様において、上記 T L S C は、光利用効率 (L U E) が約 1 以上である。

40

【 0 0 3 1 】

一態様において、上記 T L S C は、平均可視光透過率 (A V T) が約 5 0 % 以上である。

【 0 0 3 2 】

一態様において、上記発光団は、上記導波路内に埋め込まれている、上記導波路上に直接配置されている、または、上記導波路上に配置されているフィルムに備えられている。

【 0 0 3 3 】

一態様において、上記 T L S C は、上記導波路に作動可能に連結されている光起電構成要素をさらに含む。

50

【0034】

一態様において、上記発光団は、最大吸収極大および最大ピーク発光が約650nm以上である。

【0035】

一態様において、上記T L S Cは、ヘイズが約10%以下である。

【0036】

一態様において、上記発光団は、非フラーレンアクセプタ、ポロン - ジピロメテン (B O D I P Y)、またはそれらの組合せである。

【0037】

一態様において、上記発光団は上記非フラーレンアクセプタである。上記非フラーレンアクセプタが、C O i 8 D F I C、3, 9 - ビス (2 - メチレン - (3 - (1, 1 - ジシアノメチレン) - インドノン)) - 5, 5, 11, 11 - テトラキス (4 - ヘキシルフェニル) - ジチエノ [2, 3 - d : 2', 3' - d'] - s - インドセノ [1, 2 - b : 5, 6 - b'] ジチオフエン) (I T I C)、2, 2' - [[4, 4, 9, 9 - テトラキス (4 - ヘキシルフェニル) - 4, 9 - ジヒドロ - s - インドセノ [1, 2 - b : 5, 6 - b'] ジチオフエン - 2, 7 - ジイル] ビス [[4 - [(2 - エチルヘキシル) オキシ] - 5, 2 - チオフエンジイル] メチリジン (5, 6 - ジフルオロ - 3 - オキソ - 1 H - インデン - 2, 1 (3 H) - ジイリデン)]] ビス [プロパンジニトリル] (I E I C O - 4 F)、またはそれらの組合せである。

【0038】

一態様において、上記T L S Cは、第2の発光団、および、上記第2の発光団から発せられる光を導く第2の導波路、をさらに含み、上記第2の導波路が上記導波路と隣接して配置されることによって、上記第2の導波路を通過する光を前記導波路が受容し、空気によって満たされている、または、視覚的に透明である材料によって満たされているギャップによって上記導波路と上記第2の導波路とが分離されている。

【0039】

一態様において、上記視覚的に透明である材料の屈折率 (n) が約1.3以下である。

【0040】

一態様において、上記第2の発光団の量子収率 (Q Y) が約50%以上である。

【0041】

一態様において、上記第2の発光団は、最大吸収極大が約450nm以下であり、最大ピーク発光が約650nm以上である。

【0042】

一態様において、上記第2の発光団は、ナノクラスターを含む。

【0043】

一態様において、上記導波路および上記第2の導波路は、入射光がまず上記第2の導波路を通過してから上記第1の導波路を通過するように構成されている。

【0044】

種々の態様において、本技術は、最大吸収極大および最大ピーク発光が共に約650nm以上であるポリチオフエンを含む発光団と、上記発光団から発せられる光を導く導波路と、を含む、透明発光型太陽光集光器 (T L S C) も提供する。

【0045】

一態様において、上記T L S Cは、光利用効率 (L U E) が約1以上であり、平均可視光透過率 (A V T) が約50%以上であり、上記導波路への垂直入射における演色評価数 (C R I) が約80以上である。

【0046】

一態様において、上記T L S Cは、電力変換効率 (P C E) が約1%以上であり、| b * | 値が約25以下である。

【0047】

一態様において、上記発光団は、上記導波路内に埋め込まれている、上記導波路上に直

10

20

30

40

50

接配置されている、または、上記導波路上に配置されているフィルムに備えられている。

【0048】

一態様において、上記T L S Cは、上記導波路に作動可能に連結されている光起電構成要素をさらに含む。

【0049】

一態様において、上記T L S Cは、ヘイズが約10%以下である。

【0050】

一態様において、上記ポリチオフェンは、2, 2'-[[4, 4, 11, 11-テトラキス(4-ヘキシルフェニル)-4, 11-ジヒドロチエノ[2', 3':4, 5]チエノ[2, 3-d]チエノ[2''', 3''':4'', 5'']チエノ[2''', 10B''']ピラノ[2'', 3'':4', 5']チエノ[2', 3':4, 5]チエノ[3, 2-b]ピラン-2, 9-ジイル]ビス[メチリジン(5, 6-ジフルオロ)(CO_i8DFIC)、3, 9-ビス(2-メチレン-(3-(1, 1-ジシアノメチレン)-インダノン))-5, 5, 11, 11-テトラキス(4-ヘキシルフェニル)-ジチエノ[2, 3-d:2', 3'-d']-s-インダセノ[1, 2-b:5, 6-b']ジチオフェン)(ITIC)、2, 2'-[[4, 4, 9, 9-テトラキス(4-ヘキシルフェニル)-4, 9-ジヒドロ-s-インダセノ[1, 2-b:5, 6-b']ジチオフェン-2, 7-ジイル]ビス[[4-[(2-エチルヘキシル)オキシ]-5, 2-チオフェンジイル]メチリジン(5, 6-ジフルオロ-3-オキソ-1H-インデン-2, 1(3H)-ジイリデン)]]ビス[プロバンジニトリル](IEICO-4F)、またはそれらの組合せである 20

【0051】

一態様において、上記T L S Cは、最大吸収極大および最大ピーク発光が共に約650nm以上であるボロン-ジピロメテン(BODIPY)を含む第2の発光団と、上記発光団および上記第2の発光団の両方から発せられる光を導く導波路と、をさらに含む。

【0052】

一態様において、上記T L S Cは、第2の発光団、および、上記第2の発光団から発せられる光を導く第2の導波路、をさらに含み、上記第2の導波路が上記導波路と隣接して配置されることによって、上記第2の導波路を通過する光を前記導波路が受容し、空気層または視覚的に透明である材料を含む層によって上記導波路と上記第2の導波路とが分離されている。 30

【0053】

一態様において、上記視覚的に透明である材料は、屈折率(n)が約1.3以下である。

【0054】

一態様において、上記第2の発光団は、量子収率(QY)が約50%以上である。

【0055】

一態様において、上記第2の発光団は、最大吸収極大が約450nm以下であり、最大ピーク発光が約650nm以上である。

【0056】

一態様において、上記第2の発光団は、ナノクラスターを含む。 40

【0057】

一態様において、上記導波路および上記第2の導波路は、入射光がまず上記第2の導波路を通過してから上記第1の導波路を通過するように構成されている。

【0058】

一態様において、上記T L S Cは、最大吸収極大および最大ピーク発光が共に約650nm以上であるボロン-ジピロメテン(BODIPY)を含む第3の発光団と、上記発光団および上記第3の発光団の両方から発せられる光を導く導波路と、をさらに含む。

【0059】

特定の態様において、本技術は、最大吸収極大および最大ピーク発光が共に約650nm 50

m以上であるボロン - ジピロメテン (B O D I P Y) を含む発光団と、上記発光団から発せられる光を導く導波路と、を含む、透明発光型太陽光集光器 (T L S C) を提供する。

【 0 0 6 0 】

一態様において、上記 T L S C は、光利用効率 (L U E) が約 1 以上であり、平均可視光透過率 (A V T) が約 5 0 % 以上であり、上記導波路への垂直入射における演色評価数 (C R I) が約 8 0 以上である。

【 0 0 6 1 】

一態様において、上記 T L S C は、電力変換効率 (P C E) が約 1 % 以上であり、 $|b^*|$ 値が約 2 5 以下である。

【 0 0 6 2 】

一態様において、上記発光団は、上記導波路内に埋め込まれている、上記導波路上に直接配置されている、または、上記導波路上に配置されているフィルムに備えられている。

【 0 0 6 3 】

一態様において、上記 T L S C は、上記導波路に作動可能に連結されている光起電構成要素をさらに含む。

【 0 0 6 4 】

一態様において、上記 T L S C は、ヘイズが約 1 0 % 以下である。

【 0 0 6 5 】

一態様において、上記 T L S C は、最大吸収極大および最大ピーク発光が共に約 6 5 0 nm 以上であるポリチオフエンを含む第 2 の発光団をさらに含む。上記ポリチオフエンは、2, 2' - [[4, 4, 11, 11 - テトラキス (4 - ヘキシルフェニル) - 4, 11 - ジヒドロチエノ [2', 3' : 4, 5] チエノ [2, 3 - d] チエノ [2', ' ', ' ', 3', ' ', ' ', ' ', 5', ' ', ' '] チエノ [2', ' ', ' ', 3', ' ', ' ', ' ', 4', ' ', 5', ' '] ピラン [2', ' ', 3', ' ' : 4', 2', 3' : 4, 5] チエノ [3, 2 - b] ピラン - 2, 9 - ジイル] ビス [メチリジン (5, 6 - ジフルオロ) (C O _i 8 D F I C)、3, 9 - ビス (2 - メチレン - (3 - (1, 1 - ジシアノメチレン) - インダノン)) - 5, 5, 11, 11 - テトラキス (4 - ヘキシルフェニル) - ジチエノ [2, 3 - d : 2', 3' - d'] - s - インダセノ [1, 2 - b : 5, 6 - b'] ジチオフエン) (I T I C)、2, 2' - [[4, 4, 9, 9 - テトラキス (4 - ヘキシルフェニル) - 4, 9 - ジヒドロ - s - インダセノ [1, 2 - b : 5, 6 - b'] ジチオフエン - 2, 7 - ジイル] ビス [[4 - [(2 - エチルヘキシル) オキシ] - 5, 2 - チオフエンジイル] メチリジン (5, 6 - ジフルオロ - 3 - オキソ - 1 H - インデン - 2, 1 (3 H) - ジイリデン)]] ビス [プロパンジニトリル] (I E I C O - 4 F)、またはそれらの組合せである。上記導波路は、上記発光団および上記第 2 の発光団の両方から発せられる光を導く。

【 0 0 6 6 】

一態様において、上記 T L S C は、第 2 の発光団、および、上記第 2 の発光団から発せられる光を導く第 2 の導波路、をさらに含み、上記第 2 の導波路が上記導波路と隣接して配置されることによって、上記第 2 の導波路を通過する光を上記導波路が受容し、空気層または視覚的に透明である材料を含む層によって上記導波路と上記第 2 の導波路とが分離されている。

【 0 0 6 7 】

一態様において、上記視覚的に透明である材料は、屈折率 (n) が約 1 . 3 以下である。

【 0 0 6 8 】

一態様において、上記第 2 の発光団は、量子収率 (Q Y) が約 5 0 % 以上である。

【 0 0 6 9 】

一態様において、上記第 2 の発光団は、最大吸収極大が約 4 5 0 nm 以下であり、最大ピーク発光が約 6 5 0 nm 以上である。

【 0 0 7 0 】

一態様において、上記第 2 の発光団は、ナノクラスターを含む。

10

20

30

40

50

【0071】

一態様において、上記導波路および上記第2の導波路は、入射光がまず前記第2の導波路を通過してから上記第1の導波路を通過するように構成されている。

【0072】

一態様において、上記T L S Cは、最大吸収極大および最大ピーク発光が共に約650nm以上であるポリチオフェンを含む第3の発光団をさらに含む。上記ポリチオフェンは、2, 2'-[[4, 4, 11, 11-テトラキス(4-ヘキシルフェニル)-4, 11-ジヒドロチエノ[2', 3': 4, 5]チエノ[2, 3-d]チエノ[2''', 3''': 4'', 5'']チエノ[2''', 3''': 4'', 5'']ピラノ[2'', 3'': 4', 5']チエノ[3, 2-b]ピラン-2, 9-ジイル]ビス[メチリジン(105, 6-ジフルオロ)(CO_i8DFIC)、3, 9-ビス(2-メチレン-(3-(1, 1-ジシアノメチレン)-インダノン))-5, 5, 11, 11-テトラキス(4-ヘキシルフェニル)-ジチエノ[2, 3-d: 2', 3'-d']-s-インダセノ[1, 2-b: 5, 6-b']ジチオフェン)(ITIC)、2, 2'-[[4, 4, 9, 9-テトラキス(4-ヘキシルフェニル)-4, 9-ジヒドロ-s-インダセノ[1, 2-b: 5, 6-b']ジチオフェン-2, 7-ジイル]ビス[[4-[(2-エチルヘキシル)オキシ]-5, 2-チオフェンジイル]メチリジン(5, 6-ジフルオロ-3-オキソ-1H-インデン-2, 1(3H)-ジイリデン)]]ビス[プロパンジニトリル](IEICO-4F)、またはそれらの組合せである。上記導波路は、上記発光団および上記第3の発光団の両方から発せられる光を導く。

20

【0073】

種々の態様において、本技術は、第1の発光団から発せられる光を導く第1の導波路であって、第1の光受容面および反対側の第1の光透過面を有する、第1の導波路と、第2の発光団から発せられる光を導く第2の導波路であって、第2の光受容面および反対側の第2の光透過面を有する、第2の導波路と、を含む、透明発光型太陽光集光器(T L S C)を提供する。屈折率(n)が約1.3以下である透明材料または空気層のいずれかによって、上記第1の導波路と上記第2の導波路とが分離されている。上記第1の発光団または上記第2の発光団の一方は、最大吸収極大が約450nm以下であり、最大ピーク発光が約650nm以上である。上記第1の発光団または上記第2の発光団の他方は、最大吸収極大および最大ピーク発光が約650nm以上である、

30

一態様において、上記第1の導波路の前記第1の光受容面は、入射光を受容するように構成され、上記第1の発光団は、最大吸収極大が約450nm以下であり、最大ピーク発光が約650nm以上である。

【0074】

一態様において、上記第1の発光団は、量子収率(QY)が約50%以上である。

【0075】

一態様において、上記第1の発光団は、最大吸収極大が約450nm以下であり、最大ピーク発光が約650nm以上である。

【0076】

一態様において、上記第1の発光団は、ナノクラスターを含む。

40

【0077】

一態様において、最大吸収極大および最大ピーク発光が約650nm以上である上記第2の発光団は、ポリチオフェン、ポロン-ジピロメテン(BODIPY)、またはそれらの組合せを含む。

【0078】

一態様において、上記第2の発光団はポリチオフェンを含む。上記ポリチオフェンは、2, 2'-[[4, 4, 11, 11-テトラキス(4-ヘキシルフェニル)-4, 11-ジヒドロチエノ[2', 3': 4, 5]チエノ[2, 3-d]チエノ[2''', 3''': 4'', 5'']チエノ[2''', 3''': 4'', 5'']ピラノ[2'', 3'': 4', 5']チエノ[3, 2-b]ピラン-2, 9-ジイル]ビス[メチリジン(5 50

, 6 - ジフルオロ) (CO_i8DFIC)、3, 9 - ビス(2 - メチレン - (3 - (1, 1 - ジシアノメチレン) - イндаノン)) - 5, 5, 11, 11 - テトラキス(4 - ヘキシルフェニル) - ジチエノ[2, 3 - d: 2', 3' - d'] - s - イндаセノ[1, 2 - b: 5, 6 - b'] ジチオフエン) (ITIC)、2, 2' - [[4, 4, 9, 9 - テトラキス(4 - ヘキシルフェニル) - 4, 9 - ジヒドロ - s - イндаセノ[1, 2 - b: 5, 6 - b'] ジチオフエン - 2, 7 - ジイル]ビス[[4 - [(2 - エチルヘキシル)オキシ] - 5, 2 - チオフエンジイル]メチリジン(5, 6 - ジフルオロ - 3 - オキソ - 1H - インデン - 2, 1(3H) - ジイリデン)]]ビス[プロパンジニトリル] (IEICOO - 4F)、またはそれらの組合せである。

【0079】

一態様において、上記TLSCは、光利用効率(LUE)が約1以上である。

10

【0080】

一態様において、上記TLSCは、電力変換効率(PCE)が約1%以上である。

【0081】

一態様において、上記TLSCは、|b*|値が約25以下である。

【0082】

一態様において、上記TLSCは、ヘイズが約10%以下である。

【0083】

一態様において、上記TLSCは、平均可視光透過率(AVT)が約50%以上である。

20

【0084】

一態様において、上記TLSCは、上記導波路への垂直入射における演色評価数(CRI)が約80以上である。

【0085】

一態様において、上記TLSCは、上記第1の導波路の第1の端部および上記第2の導波路の第2の端部に作動可能に連結されている光起電構成要素をさらに含む。

【0086】

一態様において、上記第1の発光団は、上記第1の導波路内に埋め込まれている、上記第1の導波路上に直接配置されている、または、上記第1の導波路上に配置されている；および、上記第2の発光団は、上記第2の導波路内に埋め込まれている、上記第2の導波路上に直接配置されている、または、上記第2の導波路上に配置されている。

30

【0087】

本明細書に記載される開示から、他の領域の利用可能性は明白になるだろう。本概要における説明および具体例は例示のみを目的としており、本開示の範囲を制限することを意図するものではない。

【0088】

〔図面〕

本明細書に記載される図面は、すべての可能な実施形態ではなく、選択された実施形態の例示のみを目的としており、本開示の範囲を制限することを意図するものではない。

【0089】

図1Aは、本技術の種々の態様によるTLSCの概略図である。

40

【0090】

図1Bは、本技術の種々の態様による、図1AのTLSCと相互作用する光の概略図である。

【0091】

図2Aは、本技術の種々の態様による、導波路内に発光団が埋め込まれているTLSCの概略図である。

【0092】

図2Bは、本技術の種々の態様による、導波路の表面上に発光団が直接配置されているTLSCの概略図である。

50

【 0 0 9 3 】

図 2 C は、本技術の種々の態様による、導波路の表面上に発光団を含むフィルムが直接配置されている T L S C の概略図である。

【 0 0 9 4 】

図 3 A は、本技術の種々の態様による、光起電池が導波路の端部上に配置されている T L S C の概略図である。端部は、矩形であり得る、湾曲し得る、または面取りされ得る。

【 0 0 9 5 】

図 3 B は、光起電池が導波路の表面上に配置されている T L S C の概略図である。任意の追加の光起電池は、本技術の種々の態様による、導波路の第 2 の表面の少なくとも 1 つおよび導波路の端部上に配置されている。

10

【 0 0 9 6 】

図 3 C は、光起電池が導波路の第 1 の表面上に配置され、波長固有ミラーが導波路の端部上に配置されている T L S C の概略図である。任意の波長依存性ミラーが、本技術の種々の態様による、導波路の第 2 の表面上に配置されている。

【 0 0 9 7 】

図 3 D は、導波路および発光団を含む T L S C の概略図である。光起電池は、本技術の種々の態様による、導波路の第 1 の表面上に配置され、波長固有ミラーは導波路の端部上に配置されている。

【 0 0 9 8 】

図 3 E は、導波路および発光団を含む T L S C の概略図である。光起電アレイは、本技術の種々の態様による、導波路の表面にまたはその近くに配置されている。

20

【 0 0 9 9 】

図 3 F は、導波路および発光団を含む T L S C の概略図である。光起電アレイは、本技術の種々の態様による導波路内に埋め込まれている。

【 0 1 0 0 】

図 4 は、本技術の種々の態様による波長依存性ミラーを含む例示的な T L S C の概略図である。

【 0 1 0 1 】

図 5 A は、本技術の種々の態様による透明デュアルバンドデバイスの概略図である。

【 0 1 0 2 】

図 5 B は、線 5 B / 5 C に沿った図 5 A の透明デュアルバンドデバイスの図である。透明デュアルバンドデバイスは、本技術の種々の態様による 2 つの導波路を分離する空気層を含む。

30

【 0 1 0 3 】

図 5 C は、線 5 B / 5 C に沿った図 5 A の透明デュアルバンドデバイスの図である。透明デュアルバンドデバイスは、本技術の種々の態様による 2 つの導波路を分離する透明な材料を含む層を含む。

【 0 1 0 4 】

図 6 A ~ 6 C は、近赤外 (N I R) 取込み波長選択的透明発光型太陽光集光器 (T L S C) の動作原理の概略図である。発光されたより深い N I R フォトルミネセンスは全反射を介してエッジマウント P V 電池に導波される一方で、可視光は通過する (図 6 A)。C O _i 8 D F I C の分子構造 (図 6 B)。クロロベンゼン溶液 (実線) およびポリマーマトリックス (破線) における、C O _i 8 D F I C の正規化された吸収スペクトル (青色) および発光スペクトル (赤色) を示すグラフ (図 6 C)。

40

【 0 1 0 5 】

図 7 A ~ 7 B は、C o _i 8 D F I C の合成反応 (図 7 A) および I T I C の分子構造 (図 7 B) を示す。

【 0 1 0 6 】

図 8 A ~ 8 B は、2 つの異なるポリマーマトリックスに埋め込まれた C O _i 8 D F I C の正規化された吸収スペクトル (青色) および発光スペクトル (赤色) を示すグラフであ

50

る：Shandon（実線）およびEukitt（破線）（図8A）；溶液、ポリマーマトリックスフィルム、純フィルム、および粒子凝集体における、CO_i8DFICの正規化された吸収の比較（図8B）。

【0107】

図9A～9Cは、異なる濃度のCO_i8DFIC TLSCの電流密度対電圧（J-V）特性を示すグラフである（凡例50mgL⁻¹～300mgL⁻¹は溶液濃度を示す）。すべてのスキャンをAM 1.5G照明下で測定し、すべてのTLSCをSi PVでエッジマウントした（図9A）。異なる濃度のCO_i8DFIC TLSCの平均EQELSC（ λ ）スペクトルであり、対応する積分されたJ_{SC}が図9Aに示すJ-V特性から抽出されたJ_{SC}とよく一致する（図9B）。異なる濃度のCO_i8DFIC TLSCの正規化された位置依存性EQELSCピーク値（図9C）。

10

【0108】

図10A～10Cは、Cy7-NHSを使用したTLSCの絶対吸収およびEQELSCスペクトル（図10A）、CO_i8DFIC 150mgL⁻¹を使用したTLSCの絶対吸収およびEQELSCスペクトル（図10B）、およびエッジマウントPVとしてのGaAsを使用した実用的限界に達するTLSC（図10C）を示す図である。

【0109】

図11A～11Bは、発光団がCy7-NHS（図11A）およびCO_i8DFIC（図11B）である、異なるエッジマウントPVおよびGファクタを有するTLSCのEQELSCおよび積分されたJ_{SC}の平均の比較を示す図である。

20

【0110】

図12A～図12Fは、cy7-NHS（図12A）および異なる濃度のCO_i8DFIC（図12B～図12F）について、TLSCデバイスの測定した透過率（T（ λ ））、反射率（R（ λ ））、吸光度（A（ λ ））= 1 - T（ λ ） - R（ λ ））、EQELSC（ λ ）スペクトル、および光子バランスチェック（EQELSC（ λ ） + T（ λ ） + R（ λ ） - 1）を示している。

【0111】

図13A～13D：「150mgL⁻¹」TLSCデバイスの各波長における測定した透過率（T（ λ ））、反射率（R（ λ ））、吸収度（A（ λ ））= 1 - T（ λ ） - R（ λ ））、EQELSC（ λ ）スペクトルおよび光子バランスチェック（EQELSC（ λ ） + R（ λ ） - 1）を示すグラフを示す（図13A）。CIELAB色空間におけるCO_i8DFIC TLSCの色座標（a*、b*）であって、「300mgL⁻¹」が強く着色され、対応するCO_i8DFIC TLSC（SiまたはGaAs PVでエッジマウントされた）対平均可視光透過率（AVT）（図13B）；GaAs PVでエッジマウントされた「150mgL⁻¹」および「300mgL⁻¹」TLSCの電流密度対電圧（J-V）特性であって、挿入図はGaAs PVでエッジマウントされた同じ2つのTLSCの平均EQELSC（ λ ）スペクトルを示し、対応する積分されたJ_{SC}がJ-V特性から抽出されたJ_{SC}とよく一致する（図13C）；およびすべてのTLSCデバイスの写真（図13D）。

30

【0112】

図14A～14D：IEICO-4Fの分子構造（図14A）、ポリマーマトリックス（Eukitt）に埋め込まれたCO_i8DFIC（実線）およびIEICO-4F（破線）の正規化された吸収（青色）スペクトルおよび発光（赤色）スペクトルを示すグラフ（図14B）、CO_i8DFICおよびIEICO-4Fを発光団として有するTLSCのEQELSCと積分されたJ_{SC}の平均を示すグラフ（図14C）、IEICO-4Fを有するTLSCの光子バランスを示すグラフ（図14D）である。

40

【0113】

図15は、BODIPYの合成反応を示す。

【0114】

図16A～16D：デュアルバンド選択的取込み透明発光型太陽光集光器（TLSC）

50

の構造および動作原理を示す概略図であり(図16A)、UV構成要素とNIR構成要素とが、それぞれの導波路内での全反射と、それぞれの発光団からの発光の分離を可能にするエアギャップによって分離される。 $\text{Cs}_2\text{Mo}_6\text{I}_8(\text{CF}_3\text{CF}_2\text{COO})_6$ ナノクラスタの分子構造、正規化された吸収および発光スペクトル(図16B)。 CO_i8DFIC の分子構造、正規化された吸収および発光スペクトル(図156C)。ポリマーマトリックスにおけるBODIPYの分子構造、正規化吸収、および発光スペクトル(図16D)。

【0115】

図17A~17F: NCのみ、NC+ CO_i8DFIC 、およびNC+BODIPY TLSCの電流密度対電圧(J-V)特性を示すグラフである(図17A)。すべてのスキャンがAM 1.5G照明で測定され、すべてのTLSCが同じGaAs PV電池でエッジマウントされている。NCのみ、NC+ CO_i8DFIC 、およびNC+BODIPY TLSCの平均 EQEL_{SC} ()スペクトルであり、対応する積分された短絡電流密度

【0116】

【数1】

$$J_{SC}^{Int}$$

【0117】

は、図17Aに示されるJ-V特性から抽出された J_{SC} とよく一致する(図17B)。 $\text{NC} + \text{CO}_i8\text{DFIC}$ TLSCの絶対位置依存性 EQEL_{SC} スペクトル(図167C)。 $\text{NC} + \text{BODIPY}$ TLSCの絶対位置依存性 EQEL_{SC} スペクトル(図17D); $\text{NC} + \text{CO}_i8\text{DFIC}$ TLSCの正規化された位置依存性 EQEL_{SC} ピーク値(図17E)。 $\text{NC} + \text{BODIPY}$ TLSCの正規化された位置依存性 EQEL_{SC} ピーク値(図17F)。

【0118】

図18A~18B: 比較のためのヒト眼(V())の正規化された明所視反応とともに示す、NCのみ、NC+ CO_i8DFIC 、およびNC+BODIPY TLSCの透過スペクトル(T())(図18A)、ならびに、NCのみの群、NC+ CO_i8DFIC の群、およびNC+BODIPYの群のTLSCのCIELAB色空間における(a^* 、 b^*)座標である(図18B)。各群内で、NC濃度(1、2、5、10および20 mg/mL)が唯一の変数である。 CO_i8DFIC のみおよびBODIPYのみのTLSCの(a^* 、 b^*)も参照として含まれる。挿入図はNCのみ、NC+ CO_i8DFIC 、およびNC+BODIPY TLSCの写真で、NC濃度が10 mg/mLである。

【0119】

図19A~19B: NCのみの群、NC+ CO_i8DFIC の群、NC+BODIPYの群、 CO_i8DFIC のみ、およびBODIPYのみのTLSCについての電力変換効率(PCE)対平均可視光透過率(AVT)を示すグラフである(図19A)。黒線は部分的可視光透過率を有する非波長選択的PVのショックレー-クワイサー(Shockley-Queisser, SQ)のPCE限界であり、この線の右側の領域は波長選択的アプローチによって達成可能な標的PCEおよびAVTの組合せのみを示す。NCのみの群、NC+ CO_i8DFIC の群、NC+BODIPYの群、 CO_i8DFIC のみ、およびBODIPYのみのTLSCについての光利用効率(LUE = PCE × AVT)対AVTを示すグラフ(図19B)。黒線は部分的可視光透過率を有する非波長選択的PVのショックレー-クワイサー(SQ)のLUE限界であり、この線の右側の領域は波長選択的アプローチによって達成可能な標的LUEおよびAVTの組合せのみを示す。

【0120】

図2000A~2000Cは、ナノクラスタのみを含むデバイス(図20A)、ナノクラスタおよび CO_i8DFIC を含むデュアルバンドデバイス(図20B)、ならび

10

20

30

40

50

に、ナノクラスターおよびBODIPYを含むデュアルバンドデバイス（図120C）のT、R、AおよびEQEを含む光子バランスを示すグラフである。

【0121】

図21A～21CはデュアルバンドTLSCの光安定性調査を示している：NCのみ（図21A）、NC+CO₂8DFIC（図21B）、およびNC+BODIPY（図21C）の、一定の照明下での時間関数としての、吸収スペクトル、EQELSC、およびIQELSCの正規化されたピーク値。

【0122】

対応する参照番号は、図面における複数の図を通じて対している部材、構成要素および構成物を示す。

【0123】

〔詳細な説明〕

本開示を通して、その範囲を当業者に完全に伝えるために、例示的な実施形態を提供する。具体的な構成物、構成要素、デバイスおよび方法の例等、多数の具体的な詳細を記載することにより、本開示の実施形態に対する全体的な理解を提供する。当業者にとって明らかであることに、具体的な詳細は必ずしも採用する必要はなく、例示的な実施形態は多数の異なる形態において実施してもよく、これらはいずれも本開示の範囲を制限するものと解釈すべきではない。いくつかの例示的な実施形態において、周知のプロセス、周知のデバイスの構造および周知の技術は、詳細には記載しない。

【0124】

本明細書で使用される用語は、特定の例示的な実施形態を説明することのみを目的としており、限定を意図していない。本明細書で使用される場合、単数形の「a」「an」および「the」は、文脈上明示されていない限り、複数形も包含することを意図してもよい。用語「含む（comprise）」「含む（comprising）」「含む（including）」および「有する（having）」は、包括的である。したがって、この用語は、記載されている特徴、要素、組成、工程、整数、操作および/または構成要素の存在を特定する一方で、1つ以上の他の特徴、整数、工程、操作、要素、構成要素および/またはそれらの群の存在または追加を排除しない。非制限的な用語「含む（comprising）」は、本明細書に記載される種々の実施形態を説明しクレームするために使用される、非限定的な用語として理解すべきである。しかし、特定の態様において、この用語を、より限定的かつ制限的な用語（「からなる（consisting of）」または「から本質的になる（consisting essentially of）」等）を意図していると理解してもよい。それゆえ、構成物、材料、構成要素、要素、特徴、整数、操作および/またはプロセス工程を記載する任意の所与の実施形態に関して、本開示は、上記記載された構成物、材料、部品、構成要素、特徴、整数、操作および/またはプロセス工程からなる（または、それらから本質的になる）実施形態をも具体的に包含している。「からなる（consisting of）」の場合には、代替的な実施形態からは、任意の追加の構成物、材料、構成要素、要素、特徴、整数、操作および/またはプロセス工程が除外されている。「から本質的になる（consisting essentially of）」の場合には、任意の追加の構成物、材料、構成要素、要素、特徴、整数、操作および/またはプロセス工程のうち、基本的小および新規である特性に実質的に影響を及ぼすものは実施形態から除外されるが、基本的小および新規である特性に実質的に影響を及ぼさないものは実施形態に包含されることができる。

【0125】

実行の順番として具体的に特定されていない限り、本明細書に記載される任意の方法の工程、プロセスおよび操作は、説明または図示された具体的な順番で実行することが必要であると解釈してはならない。また、別記しない限り、追加または代替の工程を採用してもよいことも理解されるべきである。

【0126】

構成要素、要素または層は、他の要素または層に対して、「上にある（on）」「係合している（engaged to）」「接続されている（connected to）」または「連結され

10

20

30

40

50

ている (coupled to)」と示されているとき、他の構成要素、要素、または層に対して、直接的に上にあってもよく、係合していてもよく、接続されていてもよく、または、連結されていてもよい。あるいは、介在する要素または層が存在していてもよい。逆に、要素が他の要素または層に対して、「直接上にある (directly on)」「直接係合している (directly engaged to)」「直接接続されている (directly connected to)」または「直接連結されている (directly coupled to)」と示されているとき、介在する要素または層は存在しなくてもよい。要素間の関係の記述に使用される他の語も、同様に解釈されなければならない (例えば、「間にある (between)」と「直接間にある (directly between)」、「隣接する (adjacent)」と「直接隣接する (directly adjacent)」等)。本明細書で使用される場合、用語「および/または」は、関連して列挙されている 1 つ以上の項目の、任意およびすべての組合せを包含する。

10

【0127】

本明細書において、用語「第 1」「第 2」「第 3」等を使用して、種々の工程、要素、構成要素、領域、層および/または部分を記述する場合がある。しかし、別記しない限り、これらの工程、要素、構成要素、領域、層および/または部分を、これらの用語によって限定してはならない。これらの用語は、ある工程、要素、構成要素、領域、層または部分と、他の工程、要素、構成要素、領域、層または部分とを区別するためにのみ使用してもよい。本明細書で使用される場合、「第 1」「第 2」等の用語および他の数に関する用語は、本文脈によって明示されない限り、配列または順序を意味しない。したがって、以下に説明する第 1 の工程、要素、構成要素、領域、層部分を、例示的な実施形態の教示から逸脱することなく、第 2 の工程、要素、構成要素、領域、層または部分と称することができる。

20

【0128】

本明細書においては、記載の簡便のために、「前に (before)」「後に (after)」「内側に (inner)」「外側に (outer)」「下に (beneath)」「下に (below)」「下の (lower)」「上に (above)」「上の (upper)」等の空間的または時間的に関連する用語を用いることがある。これによって、図に示されている、ある要素または特徴と他の要素または特徴との関係を説明する。空間的または時間的に関連する用語は、図に描かれている方向に加えて、異なる方向へとデバイスまたはシステムを使用または操作することも包含することを意図している場合がある。

30

【0129】

本開示を通して、数値は、おおよその尺度または範囲の制限を表す。そのため、所与の値からの軽微な偏差が包含されており、言及されている値に近い実施形態と、言及されている値そのものを含む実施形態とが包含されている。詳細な説明の末尾に記載の実施例以外にも、本明細書 (添付の特許請求の範囲を含む) におけるパラメータ (例えば、量または条件のパラメータ) のすべての数値は、すべての場合において、用語「約」によって修飾されていると理解されべきである。このことは、数値の前に実際に「約」が存在するか否かには関係ない。「約」とは、記載された数値が多少の不正確さを許容することを意味する (正確な値にある程度近接している; 値に対して概ねまたは合理的に近い; 概ね近い)。本技術分野における通常の意味以外に理解できない場合には、本明細書で使用される「約」がもたらす不正確さは、通常の方法およびパラメータの使用方法によって生じてもよい最小の偏差を表す。例えば、「約」は、5% 以下の偏差を含んでいてもよい。この偏差は、任意で 4% 以下、任意で 3% 以下、任意で 2% 以下、任意で 1% 以下、任意で 0.5% 以下であり、特定の態様においては任意で 0.1% 以下である。

40

【0130】

さらに、範囲の開示には、すべての値の開示および、範囲全体からさらに分割された範囲の開示が含まれる (所与の範囲の端点および部分範囲 (sub-range) も含む)。

【0131】

添付の図面を参照しながら、例示的な実施形態をより十分に説明する。

【0132】

50

本技術は、自然であり、着色されていない光を提供する、効率的で高性能である T L S C を提供する。当該 T L S C は、可視スペクトルの外側にある光を選択的に吸収して発光する発光団に作動可能に連結されている導波路を含む。これらの発光団は、チオフェン等の非フラレンアクセプタおよびボロン - ジピロメテン (B O D I P Y) を含む。当該 T L S C は、平均可視光透過率 (A V T) が約 5 0 % 以上であり、導波路への垂直入射 (すなわち、9 0 °) における演色評価数 (C R I) が約 8 0 以上であり、 $|b^*|$ 値が 2 5 未満であり、光利用効率 (L U E) が約 1 以上である。

【 0 1 3 3 】

図 1 A を参照すると、本技術は、導波路 1 2 を含む T L S C 1 0 を提供する。導波路 1 2 は、光 (入射光等) を受容する第 1 の表面 1 4 と、光を透過する反対側の第 2 の表面 1 6 とを備える。導波路 1 2 はまた、端部 1 8 を含む。導波路 1 2 は、非限定的な例として、ガラス、低鉄ガラス (例えば、D i a m o n t (登録商標) 低鉄ガラス、および、P l a n i l u x (登録商標) 透明ガラス (Saint Gobain (Paris, France)))、および B o r o f l o a t (登録商標) 3 3 ホウケイ酸ガラス (Schott (Mainz, Germany))、プラスチック、ポリ (メチルメタクリレート) (P M M A)、ポリ - (エチルメタクリレート) (P E M A)、(ポリ) - ブチルメタクリレート - c o - メチルメタクリレート (P B M M A)、ポリエチレンテレフタレート (P E T)、ポリイミド (K a p t o n (登録商標) ポリイミドフィルム (DuPont, Wilmington, DE)、およびそれらの組合せであり得る、視覚的に透明である材料を含む。

【 0 1 3 4 】

導波路 1 2 は、発光団 2 6 と接触している (以下でより詳細に説明する)。図 1 B は、入射可視 (V I S) 光 2 0 および入射近赤外 (N I R) 光 2 2 を導波路 1 2 の第 1 の表面 1 4 上で受容する T L S C 1 0 を示す。発光団 2 6 は、N I R 光 2 2 の少なくとも一部を吸収する。しかしながら、発光団 2 6 は、V I S 光 2 0 を実質的に吸収せず、当該光は導波路 1 2 の第 2 の表面 1 6 を通過する。吸収された N I R 光 2 2 は、発光団 2 6 を励起し、当該発光団は異なる N I R 波長である N I R 光 2 4 を発光し、当該光は導波路 1 2 によって端部 1 8 に導かれる。したがって、T L S C は N I R 光 2 2 を取込み、導波路 1 2 は発光団 2 6 から発光された N I R 光 2 4 を導く。発光された N I R 光 2 4 は光起電 P V 電池または P V アレイに誘導され、電気を生成する。これについては以下でより詳細に説明する。

【 0 1 3 5 】

図 2 A は、図 1 A ~ 1 B の導波路 1 2 および発光団 2 6 を含む T L S C 1 0 a を示す。ここで、発光団 2 6 は、導波路 1 2 内に埋め込まれている。例えば、製造中、発光団 2 6 は、導波路前駆体組成物中に分散される。導波路前駆体組成物が固化または硬化して導波路 1 2 を形成すると、発光団 2 6 は、導波路 1 2 の内部マトリックスに埋め込まれたままである。

【 0 1 3 6 】

図 2 B は、発光団 2 6 が導波路 1 2 の第 1 の表面 1 4 上に直接配置されている T L S C 1 0 b を示す。例えば、導波路が形成された後、溶媒および発光団 2 6 を含む溶液は第 1 の表面 1 4 上に、成型、蒸着 (例えば、真空蒸着)、ピペットでの移動、噴霧、または注入され得る。例えば蒸発によって溶媒を除去すると、発光団のみが第 1 の表面 1 4 上に残る。発光団 2 6 は第 1 の表面 1 4 上に直接配置されて示されているが、発光団 2 6 は代替的に、第 2 の表面 1 6 上に、または第 1 の表面 1 4 および第 2 の表面 1 6 の両方上に直接配置され得ることが理解される。

【 0 1 3 7 】

図 2 C は、発光団 2 6 を含むフィルム 2 8 を含む T L S C 1 0 c を示す。フィルム 2 8 は、導波路 1 2 の第 1 の表面 1 4 (図 2 C において、もはや見えない) 上に直接配置されている。フィルム 2 8 は導波路 1 2 上に形成させることができる、または、フィルム 2 8 は別個に形成して、次いで、導波路 1 2 の第 1 の表面 1 4 上に配置することができる。フィルムは、非限定的な例として、ポリメチルメタクリレート、ポリ (n - ブチルアクリレ

10

20

30

40

50

ート)ノポリ(メチルメタクリレート-c o -メタクリル酸)、ポリカーボネート、ポリジメチルシロキサン、4,4'-ビス(N-カルバゾリル)-1,1'-ビフェニル、SiO₂等の視覚的に透明である材料、Euikit tおよびShandon等の封入剤、ならびにそれらの組合せを含む。フィルム28は第1の表面14上に直接配置されて示されているが、フィルム28は代替的に、第2の表面16上に、または第1の表面14および第2の表面16の両方上に直接配置され得ることが理解される。いくつかの態様において、フィルム28は接着剤によって導波路に連結される。当該接着剤は屈折率が低い接着剤であってもよい。

【0138】

上述のように、発光団26は太陽スペクトルのNIRおよびIR領域の少なくとも1つの波長を有する光を取込む(すなわち、吸収する)。本明細書で使用される場合、UV光の波長は約300nm~約450nmであり、VIS光の波長は約450nm~約650nmであり、NIR光の波長は約650nm~約1500nmであり、IR光の波長は約1500nm~約1mmである。発光団26は、約650nm以上の波長の光の最大吸収極大を有する。多くの発光団は、スペクトルの種々の領域に存在してもよい複数の吸収極大を有する。したがって、「最大吸収極大」は、最大ピークを有する吸収極大である。したがって、発光団26は、スペクトルのNIR領域、またはスペクトルの赤外(IR)領域において最大吸収極大を有する。発光団26は、約650nm以上の波長の光の最大ピーク発光を有する。同様に、多くの発光団は、スペクトルの種々の領域に存在してもよい複数の発光極大を有する。したがって、「最大ピーク発光」は、最大ピークを有する発光極大である。発光団26は、スペクトルのNIR領域、またはスペクトルのIR領域において最大ピーク発光を有する。

【0139】

いくつかの態様において、発光団26は、約650nm以上の最大吸収極大を有し、それはスペクトルのNIRおよびIR領域に存在し、発光団26によって吸収される全光の約50%以下、約30%以下、約20%以下、約10%以下、または約5%以下がスペクトルのVIS領域に波長を有する。換言すれば、発光団と接触する総VIS入射光のうち、約50%以下、約30%以下、約20%以下、約10%以下、または約5%以下が、発光団26によって吸収される。逆に、導波路12および発光団26に接触する総VIS光の約50%以上、約70%以上、約80%以上、約90%以上、約95%以上が、散乱することなく導波路12を完全に透過する。したがって、TLSC10(およびTLSC10a、10b、10c)は視覚的に透明であり、ヘイズが実質的にない。本明細書で使用される場合、用語「ヘイズが実質的にない」は以下により詳しく説明するように、デバイスが約20%以下のヘイズを有することを意味する。本明細書で使用される場合、用語「透明」または「視覚的に透明」は、約50%以上、約60%以上、約75%以上、約80%以上、または約90%以上の平均可視光透過率(AVT)を有するTLSCを示す。用語「不透明」または「視覚的に不透明」は、正透過率について10%以下の眼の明所視応答によって重み付けされた平均可視光透過率を有するデバイスを示す。眼の明所視応答によって重み付けされる10%~50%のAVTを有するデバイスは「半透明」である。したがって、TLSC10、10a、10b、10cはNIR/IRにおいて最大ピーク吸収を有し、NIR/IRにおいて最大ピーク発光を有する発光団26を有し、視覚的に透明である。

【0140】

発光団26は、約50以下、約20以下、約10以下、または約5以下の光学積分(OI)を有する。OIは、発光団の再吸収特性を以下のように定量化する：

【0141】

【数2】

$$OI = \int_0^{\infty} A(\lambda) \cdot PL^*(\lambda) d\lambda \quad (1)$$

【0142】

A () は発光団 / ホスト複合フィルムの単一路絶対吸収スペクトル (A () - 1 - R () - T ()) である。PL* () d はホスト材料中の発光団の正規化された発光スペクトルである。OI は、発光層の厚さ、および (溶液中ではなく) ホスト材料中の吸収スペクトルと発光スペクトルとの間の重なり の程度に依存する。したがって、OI の減少は、吸収スペクトルと発光スペクトルとの間の重なり の減少に対応する。吸収スペクトルと発光スペクトルとの間の重なりを減少させることによって、再吸収による効率損失が減少する。

【0143】

発光団 26 は、約 10 nm 以上または約 30 nm 以上のストークスシフトを有し、約 100 nm、約 200 nm、約 300 nm、約 400 nm、約 500 nm、約 750 nm、約 1000 nm、約 1250 nm、約 1500 nm、またはそれ以上のストークスシフトを含む。

【0144】

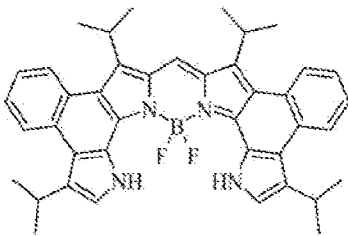
本技術のいくつかの態様において、発光団 26 は、チオフェン、ポリチオフェンまたなそれらの組合せ等の、非フラレンアクセプタ (電子受容体) である。チオフェンおよびポリチオフェンの非限定的な例として、2, 2' - [[4, 4, 11, 11 - テトラキス (4 - ヘキシルフェニル) - 4, 11 - ジヒドロチエノ [2', 3' : 4, 5] チエノ [2, 3 - d] チエノ [2', 3' : 4, 5] チエノ [2', 3' : 4, 5] チエノ [2', 3' : 4, 5] チエノ [3, 2 - b] ピラン - 2, 9 - ジイル] ビス [メチリジン (5, 6 - ジフルオロ) (CO₂DFIC)、3, 9 - ビス (2 - メチレン - (3 - (1, 1 - ジシアノメチレン) - インダノン)) - 5, 5, 11, 11 - テトラキス (4 - ヘキシルフェニル) - ジチエノ [2, 3 - d : 2', 3' - d'] - s - インダセノ [1, 2 - b : 5, 6 - b'] ジチオフェン) (ITIC)、2, 2' - [[4, 4, 9, 9 - テトラキス (4 - ヘキシルフェニル) - 4, 9 - ジヒドロ - s - インダセノ [1, 2 - b : 5, 6 - b'] ジチオフェン - 2, 7 - ジイル] ビス [[4 - [(2 - エチルヘキシル) オキシ] - 5, 2 - チオフェンジイル] メチリジン (5, 6 - ジフルオロ - 3 - オキソ - 1H - インデン - 2, 1 (3H) - ジイリデン)]] ビス [プロパンジニトリル] (IEICO - 4F)、各分子量が約 50% を超えて変化せず、各チオフェン骨格を保持するその誘導体、およびそれらの組合せが含まれる。

【0145】

他の態様において、発光団 26 は以下の構造を有するボロン - ジピロメテン (BODIPY) である。

【0146】

【化 1】



【0147】

発光団 26 はまた、非限定的な例として、以下の BODIPY 骨格を保持する BODIPY 誘導体であり得る：例えば、BOD - 66、Keio Flours (KFL)、オリゴチエニル - BODIPY、4, 4 - ジフルオロ - 4 - ボラ - 3a, 4a - ジアザ - s - インダセン、「ジグザグ」エッジ融合 ("zig-zag" edge-fused) BODIPY、アザ - BODIPY、[a] - 融合 BODIPY、[b] - 融合 BODIPY、およびそれらの組合せ。これらの化合物は任意で、BODIPY と組み合わせて使用することができる。

10

20

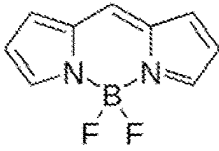
30

40

50

【 0 1 4 8 】

【 化 2 】



【 0 1 4 9 】

発光団 26 は、チオフェン、ポリチオフェンおよび B O D I P Y の任意の組合せであり得る。例えば、T L S C 10 は第 1 の発光団および第 2 の発光団を含むことができ、第 1 の発光団はチオフェンまたはポリチオフェンであり、第 2 の発光団は B O D I P Y である。

10

【 0 1 5 0 】

いくつかの態様において、発光団 26 は、スペクトルの U V 領域にある約 450 nm 以下の最大吸収極大を有する発光ナノクラスターであり、発光団 26 によって吸収される全光の約 50% 以下、約 30% 以下、約 20% 以下、約 10% 以下、または約 5% 以下がスペクトルの V I S 領域に波長を有する。換言すれば、発光団と接触する総 V I S 入射光のうち、約 50% 以下、約 30% 以下、約 20% 以下、約 10% 以下、または約 5% 以下が、発光団 26 によって吸収される。逆に、導波路 12 および発光団 26 に接触する総 V I S 光の約 50% 以上、約 70% 以上、約 80% 以上、約 90% 以上、約 95% 以上が導波路 12 を完全に透過する。発光団 26 は、スペクトルの N I R 領域、またはスペクトルの I R 領域において最大ピーク発光を有する。したがって、T L S C 10、10 a、10 b、10 c は発光ナノクラスターで視覚的に透明であり、ヘイズが実質的にない。本明細書で使用される場合、用語「ヘイズが実質的にない」は以下により詳しく説明するように、デバイスが約 20% 以下のヘイズを有することを意味する。

20

【 0 1 5 1 】

発光ナノクラスターは、六核クラスター、八面体クラスター、四面体クラスター、C h e v r a l クラスター、エッジキャップハライドクラスター (edge-capped halide cluster)、金属クラスター、またはカルコゲニドクラスターであり得る。六核クラスターは、燐光金属ハロゲン化物ナノクラスターまたは燐光金属ハロゲン化物ナノクラスター塩を含むことができる。金属ハロゲン化物または金属ハロゲン化物塩は、非限定的な例として、 $M_6 X_{12}$ 、 $M_6 X_{12} \cdot n R$ 、 $A_2 M_6 X_{14}$ 、 $A_2 M_6 X_{14} \cdot n R$ 、 $E M_6 X_{14}$ 、 $E M_6 X_{14} \cdot n R$ 、 $M_6 X_8 L_6$ 、 $A_2 M_6 X_8 L_6$ 、 $M_6 X_{14}$ 、 $M_6 X_{14} \cdot n R$ 、 $A_4 M_6 X_{18}$ 、または $A_4 M_6 X_{18} \cdot n R$ であり得る。式中、M は金属を表し、X はハロゲンを表し、A および E はそれぞれ末端 1 + および 2 + カチオンを表し、R は第 1 の配位子を表し、L は第 2 の配位子、例えばプロピオネートまたはペンタフルオロプロピオネートを表し、n は 0 ~ M + X の間の値である。M は、M o、W、C r、M n、T c、R e、C u、T i、V、T a、N b、S n、Z n、Z r または G a であり、X は F、C l、B r、I、A t またはそれらの混合物であり、A は H^+ 、 $H_3 O^+$ 、 K^+ 、 $N a^+$ 、 $L i^+$ 、 $R b^+$ 、 $C u^+$ 、 $C s^+$ 、アンモニウム、ブチルアンモニウム、テトラブチルアンモニウム (T B A)、または $N R'_4^+$ である。式中、R' は独立してアルキルまたはアリーール基から選択され、R' はハロ、ニトロ、シアノ、ヒドロキシ、ヒドロキシアルキル、ハロアルキル、ハロアルコキシ、アミノ、アジド、カルボキシ、カルバモイル、メルカプト、スルファモイル、 C_{1-10} アルキル、 C_{2-10} アルケニル、 C_{2-10} アルキニル、 C_{1-10} アルコキシ、 C_{1-10} アルコキシアルキル、 C_{1-10} アルカノイル、 C_{1-10} アルカノイルオキシ、N - (C_{1-10} アルキル) アミノ、N, N - (C_{1-10} アルキル)₂ アミノ、 C_{1-10} アルカノイルアミノ、N - (C_{1-10} アルキル) カルバモイル、N, N - (C_{1-10} アルキル)₂ カルバモイル、 C_{1-10} アルキル - S (O)_a (a は 0、1 または 2 である)、 C_{1-10} アルコキシカルボニル、N - (C_{1-10} アルキル) スルファモイル、N, N - (C_{1-10} アルキル)₂ スルファモイル、 $H_2 N S (O$

30

40

50

)₂NH-、N-(C₁~10アルキル)NHS(O)₂NH-、N,N-(C₁~10アルキル)₂NS(O)₂NH-、アリール、アリーロキシ、アリールチオ、ヘテロアリール、ヘテロアリーロキシ、シクロアルキル、シクロアルキロキシ、ヘテロシクリル、ヘテロシクリル(C=O)-、ヘテロシクリロキシおよびヘテロシクリルチオのうち1つ以上によって任意に置換され、これらの選択は非限定的である：LはF、Cl、Br、I、At、S、プロピオネート、ペンタフルオロプロピオネート、またはそれらの混合物であり、EはBe²⁺、Mg²⁺、Ca²⁺、Sr²⁺、Cu²⁺、Ni²⁺、Ti²⁺、Ba²⁺またはそれらの混合物であり；RはH₂O、CH₃CN、または任意の他の溶媒和物である。

【0152】

金属ハロゲン化物クラスター（例えば、燐光金属（II）ハロゲン化物クラスター）は、配位子交換反応によって親塩化合物から修飾することができる。親イオンは、通常、M(V)X₅の還元によって合成されるか、またはM(II)X₂の形態で直接的に得られる。Mo系クラスターの場合、親化合物はHCl塩への転化によって精製され、これは減圧下での熱処理によってM(II)X₂またはM(II)X₁₂に戻される。配位子交換はソックスレー抽出器中で、または酸性溶液中で遊離カチオンの存在下で直接反応させることによって実施することができ、それぞれ種々の錯体または塩を形成する。ここで合成される金属ハロゲン化物錯体（水和物および塩）の選択された範囲の特性は、約1%~約70%超の量子収率を示す。多くのアミンおよびチオール系配位子は、チオレートおよびアミン配位を介して、末端ハロゲン化物の周囲で置換されることができる。M、XおよびLはMX₂・L₂、AMX₂・L₂、M₆X₁₂・L₂、A₂M₆X₁₄、およびA₂M₆X₁₄・L₂において異なり、M=W、MoならびにX=Cl、Br、IならびにL=Cl、CH₃CN、ベンゼンチオール、エタンチオール、H₂O（水和物）、HCl、アセトニトリル(CAN)ならびにA=K、Na、テトラブチルアンモニウム(TBA)、および他のアンモニウム塩を含む。さらに、アミンおよびアンモニウム塩は、ポリマー鎖骨格に容易に固定されて、粒子分離を高め、量子収率を増加させることができる。燐光ナノクラスターの例としては、K₂Mo₆Cl₁₄、TBA₂Mo₆Cl₁₄、(H₃O)₂Mo₆Cl₁₄、およびそれらの組合せが挙げられる。

【0153】

図1のTLSC10はまた、光起電(PV)構成要素（例えば、PV電池またはPVアレイ）を含む。図3Aおよび3Bは、図1Aおよび1BのTLSC10と同じ構成要素を有するTLSC10'、10^{*}を示す。しかしながら、太陽光集光器10'は導波路12の端部18のうち1つの上に配置されているPV電池30を含み、TLSC10^{*}は導波路12の第1の表面14上に配置されているPV電池30と、任意で端部18上および/または第2の表面16上に配置されているPV電池30とを含み、PV電池30は導波路12に作動可能に連結されている。「作動可能に連結されている」とは、発光団26から放出された、導波路12内のNIRまたはIR放射がPV電池30に伝達され得ることを意味する。種々の態様において、図3AのTLSC10'は、導波路12の少なくとも1つの端部18上にPV電池30を含む。図3Bにおいては、PV電池30は、導波路12の第1および/または第2の表面14、16上の、端部18（例えば、矩形であり得る、湾曲し得る、または面取りされ得る）に、または、その近くに位置する。「端部18にまたはその近くに」とは、PV電池30が端部18に当接している、または、端部18に当接する約10cm以内、約5cm以内、または約2.5cm以内であることを意味する。PV電池30が導波路12の表面14、16上に配置されている態様において、導波路の表面14、16はPV電池30の位置で粗くてもよく、または、PV電池30を導波路12に埋め込み、PV-導波路界面における全反射を低減することによって導波路12が作動可能にPV電池30に連結されることを確実にすることができる。

【0154】

図3Cおよび3Dは、図1Aおよび1Bの太陽光集光器10と同じ構成要素を有するTLSC10^{**}、10^{***}を示す。しかしながら、図3Cおよび3DのTLSC10'

10

20

30

40

50

* *、10 * * * は、少なくとも1つの波長依存性ミラー32および少なくとも1つのP V電池30を含む。より具体的には、図3Cにおいて、T L S C 10 * * は、導波路12の第1の面14上の、端部18またはその近くのP V電池30と、端部18上の波長依存性ミラー32とを含む。任意の第2の波長依存性ミラー32は、導波路12の第2の表面16上の、端部18にまたはその近くに配置されている。図3Dにおいて、T L S C 10 * * * は、導波路12の第2の表面14上の、端部18にまたはその近くに配置されているP V電池30と、端部18上に配置されている波長依存性ミラー32とを含む。以下、図4を参照して、波長依存性ミラーについて詳述する。

【0155】

図3Eおよび3Fは、図1Aおよび1Bの太陽光集光器10と同じ構成要素を有するT L S C 10 ' '、10 ' ' 'を示す。しかしながら、T L S C 10 ' '、10 ' ' 'は、導波路12作動可能に連結されているセグメント化P Vアレイ34を有する。図3Eにおいて、P Vアレイ34は、導波路12の表面14上に配置される。図3Fでは、P Vアレイ34が導波路12の中央領域36内、例えば、導波路12の内部マトリックスのバルク内に配置されている。P Vアレイ34は、導波路12上にコーティングまたは噴霧して、または集合的に導波路12を形成する交互のスタック間の層として染色されたシートを層状にすることによって提供することができる。P Vアレイ34は視覚的に透明でなくてもよいが、太陽光集光器10の透明性に実質的に影響を及ぼさないように、P Vアレイ34のサイズは十分に小さい。例えば、種々の実施形態において、P Vアレイ34は、導波路12の約20%以下、約15%以下、約10%以下、約5%以下、約2.5%以下を占める。換言すれば、P Vアレイ34は、太陽光集光器10に接触する光の約20%未満、約15%以下、約10%以下、約5%以下、約2.5%以下を遮断する。いくつかの実施形態において、P Vアレイ34はヒト観察者によって細い線もしくはドットとしてわずかに視認可能であってもよく、または、P Vアレイ34はヒト観察者にとって顕微鏡によらなければ見えず、視認不可であってもよい。

【0156】

様々な態様において、P Vアレイ22は、導波路16の表面24内に配置されているか、またはその上に配置されている、ワイヤ、マイクロワイヤ、ナノワイヤ、リボン、スライバ、球体、ドット、またはそれらの組合せなどを含むメッシュである(図2F)。熱損失を低減するために、2つ以上のP Vアレイ22を利用することができる。図2BのP V電池18ならびに図2Fおよび2GのP Vアレイ22は、当技術分野で公知の任意の材料を含むことができる。太陽光アレイおよび太陽電池材料の非限定的な例としては、ゲルマニウム(Ge);アモルファスゲルマニウム(a-Ge);ガリウム(Ga);ヒ化ガリウム(GaAs);窒化ガリウム(GaN)、窒化ガリウムインジウム($IN_xGa_{1-x}N$, $0 < x < 1$);ケイ素(Si);アモルファスケイ素(a-Si);ケイ素-ゲルマニウム(SiGe);アモルファスケイ素-ゲルマニウム(a-SiGe);リン化ガリウムインジウム(GaInP);セレン化銅インジウム、硫化銅インジウム、またはそれらの組み合わせ(CIS);セレン化銅インジウムガリウム、硫化銅インジウムガリウム、またはそれらの組合せ(CIGS);テルル化カドミウム(CdTe);ペロブスカイト(PV)、例えば $CH_3NH_3PbI_3$ 、 $CH_3NH_3PbCl_3$ および $CH_3NH_3PbBr_3$;ならびにそれらの組合せである。

【0157】

いくつかの態様において、図3Eおよび3FのT L S C 10 ' '、10 ' ' 'に関して示されるP Vアレイ34は直列に配線され、付加物、例えば、球体またはドットを含んでもよい。例えば、P Vアレイ34は、細いワイヤの電気接続によって接続されているSi球状太陽光アレイを含むことができる。一実施形態において、P Vアレイ34はメッシュを形成するために一緒に配線された球体を含む。有利には、球状または多面P Vアレイ34を使用することは、各電池が、複数の角度で、直接および間接の太陽光の両方を捕捉することができるので、システム効率をさらに高める。P Vアレイ34は導波路12内の異なる位置の、表面14、16にもしくはその近くに配置することができ、またはP Vアレイ34

は、導波路 1 2 のほぼ同じ全体厚さである厚さを有することができる。いくつかの態様において、T L S C 1 0 ' ' , 1 0 ' ' ' は、導波路 1 2 内の異なる位置に配置されている、複数の P V アレイ 3 4 を含むことができる。

【 0 1 5 8 】

セグメント化された P V アレイ 3 4 を導波路 1 2 の第 1 または第 2 の表面 1 4 、 1 6 に配置することによって、色素再吸収によって光学的に失われる前に発光 (l u m i n e s c e d l i g h t) を捕捉することが可能である。あるいは、P V アレイ 3 4 を導波路 1 2 内に埋め込むことができる。この再吸収の損失は、ストークスシフトが小さい蛍光体に特に有益である。P V アレイ 3 4 が導波路 1 2 内のどこに配置されるかに応じて、発光団 2 6 は、P V アレイ 3 4 内に埋め込まれるか、またはそれに並置されるかのいずれかであり得る。また、P V アレイ 3 4 を導波路 1 2 の第 1 または第 2 の表面 1 4 、 1 6 に配置することによって、前方放射光の一部を捕捉することができ、これは、光損失をさらに低減し、電池間の N I R 光のより大きな部分を利用することによって、空間的にセグメント化された P V アレイ 3 4 の効率を高める。

10

【 0 1 5 9 】

図 4 に示すように、T L S C 5 0 は、第 1 の波長依存性ミラー 5 2 を含むことができる。第 1 の波長依存性ミラー 5 2 はグラフ 8 0 に示すように、発光団の発光スペクトルのみに対応する N I R 光の反射率を有することができる。したがって、第 1 の波長依存性ミラー 5 2 は可視光 5 4 に対して透明であるが、グラフ 8 0 に示される発光範囲において N I R 光 5 6 を反射する。第 1 の波長依存性ミラー 5 2 は、上記発光団を含む T L S C 5 0 の第 1 の表面 5 8 に機能的に連結することができる。あるいは、第 1 の波長依存性ミラー 5 2 は、T L S C 5 0 の第 2 の表面 6 0、または両方の表面 5 8、6 0 に機能的に連結することができる。他の態様において、発光団は第 2 の表面 6 0 上にあるか、または導波路内に埋め込まれている。

20

【 0 1 6 0 】

さらに図 3 を参照すると、T L S C 5 0 は、第 2 の波長依存性ミラー 6 2 を含むことができる。第 2 の波長依存性ミラー 6 2 はグラフ 9 0 に示すように、改変発光団の吸収スペクトルおよび発光スペクトルの両方に対応する N I R 光の反射率を有することができる。第 2 の波長依存性ミラー 6 2 は可視光 5 4 に対して透明であるが、グラフ 9 0 に示される発光範囲において N I R 光 5 6 を反射する。第 2 の波長依存性ミラー 6 2 は、T L S C 5 0 の第 1 の表面 5 8、T L S C 5 0 の第 2 の表面 6 0、または両方の表面 5 8、6 0 に機能的に連結することができる。一実施形態において、第 1 の波長依存性ミラー 5 2 は T L S C 5 0 の第 1 の表面 5 8 に機能的に連結され、第 2 の波長依存性ミラー 6 2 は T L S C 5 0 の第 2 の表面 6 0 に機能的に連結される。上述のように、光起電アレイは、第 1 の表面 5 8、第 2 の表面 6 0、または導波路内に配置することができる。種々の実施形態において、T L S C 5 0 は第 1 の表面 5 8、第 2 の表面 6 0 のいずれかに、または第 1 の表面 5 8 と第 2 の表面 6 0 との間の導波路内に配置されている複数の太陽光アレイを含む。さらに他の実施形態において、T L S C 5 0 は、第 1 および第 2 の表面 5 8、6 0 に隣接する T L S C 5 0 の端部に配置されている太陽電池を含む。

30

【 0 1 6 1 】

透明光起電装置 (T P V) に、視覚的に透明である選択的 N I R 波長依存性ミラー 5 2、6 2 を組み込むことにより、電力変換効率が 5 0 ~ 1 0 0 %、実質的に改善される。同様に、これらのミラー 5 2、6 2 の組込みは、低プレート寸法における光学効率を約 2 0 % よりも大きく改善する一方で、所与の光学密度のために必要とされる改変発光団の量を約半分に低減する。約 0 . 5 m² を超える太陽光集光器のサイズの場合、これらのミラー 5 2、6 2 は、システム効率を低下させる可能性がある任意の表面およびバルク散乱欠陥を軽減するのに役立つ。ミラー 5 2、6 2 は集光器の吸収を改善し、導波を増加させるコーティングとすることができる。さらに、これらのコーティング層はすでに普遍的に配備されている l o w - e コーティングと非常に類似しており、熱除去のためにそれらの機能性の大部分を補完または置換することができる。T i O₂、S i O₂、および A l₂O₃

40

50

の交互層の組合せは、e - ビーム蒸着、パルスレーザー蒸着、プラズマ強化スパッタリング、熱蒸着、化学蒸着、または溶液蒸着によって成長させて、全体のカラーインパクトおよび性能を最適化することができる。図4に関する上記の議論は、図1A~1B、図2A~2B、および3A~3Fに記載されるT L S Cに適用されることが理解される。

【0162】

図5Aを参照すると、本技術は、透明なデュアルバンドデバイス100も提供する。デュアルバンドデバイス100は、図1A~1B、2A~2B、3A~3Fおよび4を参照して、すべての変形において上述した導波路12を含む。しかしながら、発光団26は上述のとおり、約650nm以上の最大吸収極大および最大ピーク発光を有し、約15%以上、約20%以上、または約25%以上の量子収率を有する。発光団26は、上述のUV
10 取込み発光ナノクラスターではない。したがって、発光団は、チオフェン、ポリチオフェン、BODIPY、ポルフィリン、フタロシアニン、またはそれらの組合せである。透明デュアルバンドデバイス100は、第2の発光団102と、第2の発光団102から放出された光を導く第2の導波路104とをさらに含む。第2の発光団102は上述のとおり、約450nm以下の最大吸収極大と、約650nm以上の最大ピーク発光とを有する発光エミッタである。非限定的な例として、第2の発光団102は、上述の発光ナノクラスターのうちの少なくとも1つであり得る。さらに、第2の発光団は、約20%以上、約30%以上、約40%以上、または約50%以上の量子収率(QY)を有する。

【0163】

第2の導波路104は、第3の表面106と、対向する第4の表面108と、端部110
20 とを有する(図5Aでは4つの端部110のうちの一つのみを見ることができる)。第3の表面106は入射光を受容し、第4の表面108は光を透過する。導波路12、104は互いに隣接して配置され、導波路12の第1の表面14が第2の導波路104の第4の表面108を透過した光を受容する。さらに、第2の導波路104は、導波路12と直接物理的に接触していない。むしろ、導波路12、104は、導波路12と第2の導波路104との間にギャップ(または分離)112を画定するように配置されている。ギャップ112は、各導波路12、104内に導かれる放射光が対向する導波路12、104内に移動しないことを確実にする。ギャップ112は、発光団26が第2の発光団102から放出されるNIR光を吸収する可能性を防止する。ギャップ112の幅、すなわち、導波路12の第1の表面14と第2の導波路の第4の表面108との間の距離は、約1nm
30 以上、約10nm以下、またはさらに広いWGである。例示的な幅WGは、約10nm、約100nm、約500nm、約1μm、約1μm、約1μm、約1μm、約100μm、約250μm、約500μm、約750μm、約1mm、2mm、3mm、4mm、5mm、6mm、7mm、8mm、9mm、および10mmを含む。

【0164】

透明デュアルバンドデバイス100はまた、少なくとも一つのPV電池114を含む。各PV電池114は、導波路12、104の対応する端部18、110に連結されている。換言すれば、単一の一体型PV電池114は、導波路12の端部18および第2の導波路104の端部110に連結されている。したがって、透明デュアルバンドデバイス100は、単一電池デバイス(デュアル電池、マルチ電池、または各導波路のための別個のPV電池を有する多機能デバイスとは対照的)である。いくつかの態様において、UVにて最大吸収極大を有し、NIRおよび/またはIRにて最大ピーク発光を有する発光団が、UVにて最大吸収極大を有し、UVにて最大ピーク発光を有する第2の発光団と共に使用される。他の態様において、UVにて吸収極大を有し、NIRおよび/またはIRにて最大ピーク発光を有する発光団が、NIRにて最大吸収極大を有し、NIRおよび/またはIRにて最大ピーク発光を有する第2の発光団とともに使用され、発光団の最大ピーク発光は第2の発光団の最大吸収極大および最大ピーク発光とは異なる。これらの態様において、同じPV電池を両方の導波路に連結させること、または別個のPV電池を各導波路に連結させることが可能であり、各PV電池はUV吸収体/エミッタおよびNIR吸収体/エミッタの発光端部に近い別個のバンドギャップを有し、熱化損失を低減する。
40
50

【 0 1 6 5 】

図 5 B は、線 5 B / 5 C に沿った図 5 A の透明デュアルバンドデバイス 1 0 0 の図である。より具体的には、図 5 B が透明なデュアルバンド装置 1 0 0 a を示し、ギャップ 1 1 2 a が空気によって満たされている。このように、ギャップ 1 1 2 a は、エアギャップまたは空気を含む層である。ここで、最後に 1 つの P V 電池 1 1 4 はデバイスアーキテクチャを維持することができる。しかしながら、透明デュアルバンドデバイス 1 0 0 a は、第 2 の導波路 1 0 4 から導波路 1 2 を分離するスペーサ 1 1 6 を任意で含む。

【 0 1 6 6 】

図 5 C は、線 5 B / 5 C に沿った図 5 A の透明デュアルバンドデバイス 1 0 0 の図である。より具体的には、図 5 B が透明なデュアルバンド装置 1 0 0 a を示し、ギャップ 1 1 2 b は視覚的に透明である材料を含む層である。視覚的に透明である材料は、約 1 . 4 5 以下または約 1 . 3 以下の屈折率 (n) を有する。したがって、屈折率 (n) は、約 1 以上約 1 . 4 5 以下、または約 1 以上約 1 . 3 以下である。屈折率 (n) は、約 1、約 1 . 0 5、約 1 . 1、約 1 . 1 5、約 1 . 2、約 1 . 2 5、約 1 . 3、約 1 . 3 5、約 1 . 4、または約 1 . 4 5 であり得る。

【 0 1 6 7 】

上述のとおり、本明細書に記載されるすべてのデバイスは、約 5 0 % 以上、約 6 0 % 以上、約 7 5 % 以上、約 8 0 % 以上、または約 9 0 % 以上の A V T を有する。本技術のデバイスによって示される例示的な A V T は、約 5 0 %、約 5 5 %、約 6 0 %、約 6 5 %、約 7 0 %、約 8 0 %、約 8 5 %、約 9 0 %、および約 9 5 % を含む。

【 0 1 6 8 】

本明細書に記載されるすべてのデバイスは、約 8 0 以上、約 8 5 以上、または約 9 0 以上の演色評価数 (C R I) を有する。本技術のデバイスによって示される例示的な C R I は、約 8 0、約 8 5、約 9 0、および約 9 5 を含む。本明細書に提供される透過率 (A V T) および透明度の値は導波路への垂直 (すなわち、9 0 °) 入射である。

【 0 1 6 9 】

本明細書に記載されるすべてのデバイスは、国際照明委員会 (C I E) によって定義される $L^* a^* b^*$ 色空間、すなわち、実質的に白色である C I E L A B 色空間を有する。より具体的には、デバイスは、約 2 5 以下、約 2 0 以下、約 1 5 以下、約 1 0 以下、および約 5 以下の $| a^* |$ および $| b^* |$ 値、ならびに、約 1 0 以上、約 2 5 以上、約 5 0 以上、約 7 5 以上、または約 9 5 以上の L^* 値を示す。 L^* 値は、約 1 0 0、約 9 5、約 9 0、約 8 5、約 8 0、約 7 5、約 7 0、約 6 5、約 6 0、約 5 5、約 5 0、約 4 5、約 4 0、約 3 5、約 3 0、約 2 5、約 2 0、約 1 5、および約 1 0 を含む。より具体的には、デバイスは、約 2 5 以下、約 2 0 以下、約 1 5 以下、約 1 0 以下、または約 5 以下の $s q r t (| a^* | ^2 + | b^* | ^2)$ 値を示す。

【 0 1 7 0 】

本明細書に記載されるすべてのデバイスは、約 2 0 % 以下、約 1 0 % 以下、約 5 % 以下、約 2 % 以下、または約 1 % 以下である、全透過率 (すなわち、散乱しているかどうかにかかわらず、トラフ (trough) を得る光の全量) で割った拡散透過率 (すなわち、デバイス内で散乱するが、それでも透過する光の量) として定義されるヘイズまたは透過ヘイズを有する。ヘイズは、約 2 0 %、約 1 8 %、約 1 6 %、約 1 4 %、約 1 2 %、約 1 0 %、約 8 %、約 6 %、約 4 %、約 2 %、約 1 % およびそれ以下を含む。したがって、デバイスは、ヘイズが実質的にない。

【 0 1 7 1 】

本明細書に記載されるすべてのデバイスは、約 1 % 以上、約 1 . 5 % 以上、約 2 % 以上、または約 3 % 以上の電力変換効率 (P C E) を有する。

【 0 1 7 2 】

光利用効率 (L U E) は P C E と A V T との積である。例えば、デバイスの P C E が 2 . 0 %、A V T が 5 0 % の場合、L U E は $2 . 0 \% \times 5 0 \% = 1 . 0 \%$ または単純に 1 . 0 になる。L U E が 0 とは、不透明デバイスを示す。本明細書に記載されるすべてのデバ

10

20

30

40

50

イスは、約 0.9 以上の LUE を有する。唯一の発光団としてチオフェンまたはポリチオフェンを含む T L S C は、約 0.92 の LUE を有する。唯一の発光団として B O D I P Y を含む T L S C は、約 1.26 の LUE を有する。唯一の発光団として発光ナノクラスターを含む T L S C は、1.01、1.59、および 1.84 の LUE を有する。(導波路が入射光と接触する順に)発光ナノクラスターを含む第 1 の導波路と、B O D I P Y を含む第 2 の導波路とを有する透明なデュアルバンドデバイスは、約 1.3、約 1.49、約 1.92、約 2.36、および約 2.6 の LUE を有する。(導波路が入射光と接触する順に)発光ナノクラスターを含む第 1 の導波路と、C O _i 8 D F I C を含む第 2 の導波路とを有する透明デュアルバンドデバイスは、約 1.19、約 1.56、約 1.89、および約 2.12 の LUE を有する。したがって、本技術は約 0.9 以上、約 0.95 以上、約 1 以上、約 1.5 以上、または約 2 以上の LUE を有する T L S C および透明デュアルバンドデバイスを提供し、約 0.9、約 0.95、約 1、約 1.05、約 1.1、約 1.2、約 1.3、約 1.4、約 1.5、約 1.6、約 1.7、約 1.8、約 1.9、約 2、約 2.1、約 2.2、約 2.3、約 2.4、約 2.5、約 2.6 およびそれ以上の LUE を含む。

10

【0173】

最高の可能性がある美観を有する P C E を最適化すると、 $P C E / (\sqrt{a * ^2 + b * ^2})$ は約 0.05 以上、約 0.08 以上、約 0.1 以上、約 0.13 以上となる。

【0174】

上記 T L S C は、エネルギー生成のための建物、車両、およびデバイスに組み込むことができる。したがって、本技術は、上記 T L S C を含む建物、車両、およびデバイスを提供する。

20

【0175】

本技術の実施形態を、以下の非限定的な実施例によってさらに説明する。

【0176】

〔実施例 1〕

透明発光型太陽光集光器 (T L S C) は、紫外線 (U V) および近赤外線 (N I R) 光を選択的に取込む。太陽光取込み領域上に電極、バスバー、および集積グリッド (collection grid) が存在しないため、デバイス構造は、これらのデバイスが最高レベルの透明性および美観を達成することを可能にする。本実施例において、非フラーレンアクセプタ (例えば C O _i 8 D F I C) を、発光団として T L S C に導入する。C O _i 8 D F I C の濃度が電力変換効率 (P C E)、美観の質およびスケラビリティに及ぼす影響を体系的に試験する。デバイス最適化後、C O _i 8 D F I C T L S C は 1.2 % 超の P C E を達成し、一方、平均可視光透過率 (A V T) が 74 % を超え、演色評価数 (C R I) は 80 を超えることを示す。本実施例は、報告された最高の可視光透過率において最高の T L S C デバイス性能を報告する。

30

【0177】

(はじめに)

透明光起電電池 (T P V) は、紫外線 (U V)、近赤外線 (N I R) を選択的に、すなわち、太陽スペクトルの可視 (V I S) 部分にわたって部分的かつ中立的に、取り込むことができる。したがって、T P V はその下の表面の機能性および美観の質への影響を最小限に抑えながら、現場でのエネルギー需要を効果的に供給することができ、総エネルギー利用効率を改善する。本技術は (自律型) モバイルエレクトロニクス、ディスプレイ、および電気自動車を含む小面積での用途における適用を可能にし、その場合、潜在的な市場は、増え続ける生産量のために相当なものである。これらの小面積での用途に加えて、よりスケラブルになり、新規および既存のインフラ社会基盤を電力源に変換し、伝送における電気損失を劇的に低減するので、建築エンベロープ (architectural envelope) 上に T P V を統合することができる。

40

【0178】

50

重要な T P V 技術である透明発光型太陽光集光器 (T L S C) は、フォトルミネセンス (P L) による太陽エネルギー変換を光学的にシフトし、フォトルミネセンス (P L) は、(全反射によって) エッジマウント P V 電池に光学的に移される (図 6 A) 。太陽光取込み領域上に電極、バスバー、および集積グリッドがないため、デバイス構造は大幅に簡略化され、L S C / T L S C デバイスが最高レベルの透明性および美観を達成することを可能にする。過去 10 年間、量子ドット、ナノクラスターおよび希土類イオン錯体は、L S C / T L S C システムにおける発光団として広く研究されている。これらの研究のほとんどは、(1) 量子収率 (Q Y) の改善、(2) 再吸収損失を最小にするための吸収および発光スペクトルの調節、および (3) 発光団の吸収スペクトルと入射太陽スペクトルのピークとを一致させることによる光吸収の増強に焦点を当てている。しかしながら、これらの発光団の連続バンド吸収特性は、高い美観の質および透明性が目標とされる場合、それらの吸収カットオフを約 435 nm に制限する。440 nm を超えるバンドギャップは、平均可視光透過率 (A V T) および演色評価数 (C R I) の急速な低下をもたらし得る。波長選択的吸収体を利用することにより、U V または N I R のみを取込むことが可能になる。選択的吸収が 675 nm を超えて赤方偏移することにつれて、C R I および A V T は最大に達する。したがって、675 nm およびエッジマウント P V 電池の吸収カットオフの間の N I R 光子を発電に利用することができ、この範囲は、入射 A M 1.5 G 光子束のピークと一致する。さらに、赤色 - N I R におけるテール吸収 (tail absorption) が 675 nm 未満であっても、得られる青色 / 緑色の色合いは黄色 / 赤色の色合いよりも視覚的に許容されることが多く、これは N I R 選択的取込み発光団にとってより多くの設計自由度を提供する。

【 0 1 7 9 】

有機および分子半導体における光吸収は、基底状態から励起された分子軌道 (例えば、 S_0 S_1 、 S_0 S_2) への遷移に由来する。励起された分子軌道 (S_1 および S_2) の間のギャップは準位の密度の不連続性をもたらし、これは光子の透過を可能にする。分子構造は、このギャップが可視スペクトルと重複するように調整され、可視光透明性を作り出すように設計することができる。一般に、有機染料は N I R 光子を選択的に取込むように設計することができ、これは、通常、従来の半導体では不可能である。しかしながら、有機発光団は、多くの場合、大きな自己吸収 (吸収と P L との間の大きな重複)、狭い吸収ピーク、および N I R における比較的低い Q Y に悩まされる。近年、C O _i 8 D F I C (O 6 T - 4 F とも示される、図 6 B) が、前例のない性能を有する有機光起電装置における非フラーレンアクセプタとして開発されている。本実施例において、非フラーレンアクセプタ (C O _i 8 D F I C を含む) を N I R 選択的取込み T L S C における発光エミッタとして導入し、電力変換効率 (P C E) は 2 倍を超える 1.24 % である。これはこれまでの最良の N I R 選択的取込み T L S C であり、最高の P C E は A V T 70 % 超を報告する。波長選択的取込みからの可視光透明性が高いため、光利用効率 (L U E = P C E × A V T) は、量子ドットベース L S C の最高 L U E にも匹敵する。この材料モチーフでは、同様のレベルの A V T で 5 % に近づく効率は、Q Y を約 25 % から 100 % 近くに増加させることによってのみ可能であり、10 % 以上の効率は、可視スペクトル周辺の太陽光取込みをさらに増加させることによって達成される。

【 0 1 8 0 】

(実験)

< C O _i 8 D F I C の合成 >

N M R スペクトルは、500 M H z の V a r i a n N M R 分光計で得られ、重水素化溶剤からの残留 ¹ H ピークを基準として使用した。カラムクロマトグラフィは、S i l l i c y c l e 60、35 ~ 75 μ m シリカゲルを使用して行った。予めコーティングされた 0.25 mm 厚のシリカゲル 60 F 254 プレート进行分析用 T L C に使用し、U V 光を使用して可視化した。化合物 A および D は、ChemShuttle Co から得た。

【 0 1 8 1 】

図 7 A を参照すると、C O _i 8 D F I C の合成は、以下に記載するいくつかの手順への

わずかな改変を伴って、既知の手順に密接に従った。臭化物 A で合成を開始し、2 段階でプロモエステル異性体 B および C を約 2 : 1 の割合で得た。カラムクロマトグラフィは、所望の異性体 B を分離するのに効率的ではなく、したがって結晶化を使用した。B / C 混合物の再結晶は、室温において純粋な DCM 中に材料を溶解することによって開始した。Et₂O をゆっくり加えると結晶が生成した。Et₂O : DCM の割合が最終的に 3 : 1 に達したときに、Et₂O の添加を終了した。溶液を室温で一晩維持し、結晶をブフナー漏斗で濾過し、冷 Et₂O で洗浄した。単離された結晶は所望の異性体 (10 : 1 B : C) の純度の実質的な改良をもたらし、これをその後の変換に使用した。CO_i8 - CHO が得られるまであとに続く工程を行った。最後の反応については、反応時間が長くなるにつれて収率の低下がもたらされることが見出された。CO_i8 - CHO と D の反応を 3 10
時間で停止させ、標的分子を 91 % の収率で単離した。チオフェン I T I C の分子構造を図 7 B に示す。

【 0 1 8 2 】

< モジュールの製作 >

CO_i8 DFIC 粉末を塊にし、ジクロロメタンに溶解して (5 分間の超音波処理) 、目標濃度の溶液を調製した。「 150 mg L⁻¹ 」 T L S C 用に、150 mg L⁻¹ ジクロロメタン溶液を、(ポリ) - ブチルメタクリレート - c o - メチルメタクリレート (P B M M A) (Sigma-Aldrich) と 1 : 1 の体積比で均一に混合した。5 . 0 8 c m × 5 . 0 8 c m × 0 . 6 3 5 c m のガラス板 (J - V 特性評価用) に複合混合物を滴下し、窒素ガス (O₂、H₂O < 1 p p m) を充填したグローブボックス中で 3 時間乾燥させ、約 0 . 5 m m の層厚が得られた。2 . 5 4 c m × 2 . 5 4 c m × 0 . 1 c m (P L および Q Y 測定用) に同じ層構造を適用した。光起電測定のために、単結晶太陽電池 (Vicoce ll Solar) を、J - V および対応する E Q E L S C 測定のために 5 . 0 8 c m × 0 . 6 3 5 c m 帯にレーザー切断し、位置依存性 E Q E 測定のために 1 0 . 1 6 c m × 0 . 6 3 5 c m 帯にレーザー切断した。エッジマウント G a A s P V (Alta Devices) を、受け取ったまま使用した。J - V 測定用に、2 つの P V 帯を、屈折率整合ゲル (Thorlabs) を使用して直交する端部上に取付けることによって、P V 帯を導波路の端部上に取付けて並列に接続した。残りの 2 つの端部は、光および光の内部反射を遮断するために黒色に塗装した。E Q E L S C 測定用に、1 つの P V 帯を導波路の 1 つの端部に取付け、他の 3 つの端部を黒色に塗装した。 20
30

【 0 1 8 3 】

< 光学特性評価 >

両溶液および T L S C デバイスの正透過率 (specular transmittance) (T ()) を、ダブルビーム L a m b d a 8 0 0 U V / V I S 分光計を使用して透過モードで測定した。固体フィルム T L S C の透過率測定のために参照ビーム側に参照サンプルを配置しなかった。T L S C の反射率 (R ()) も、試料ビーム側に設置された正反射アクセサリ (specular accessory) を有する L a m b d a 8 0 0 U V / V I S 分析計を使用して測定した。吸収スペクトルは次の式によって得られた：A () = 1 - T () - R () 。クロロベンゼン溶液中の CO_i8 DFIC およびポリマーマトリックスの P L を、P T I QuantaMaster 40 分光蛍光光度計を使用して、6 5 0 n m で励起して測定した。フォトルミネセンス量子収率を、Hamamatsu Quantaaurus 蛍光光度計を使用して試験し、スキャンモードにおける励起範囲 (スキャン工程当たり 1 0 n m) を 6 5 0 ~ 7 5 0 n m に設定した。報告された Q Y 値を、11 の測定値から平均した。 40

【 0 1 8 4 】

< モジュール光起電特性評価 >

Keithley 2420 SourceMeter を使用して、シミュレートされた A M 1 . 5 G ソーラー照明 (試験されたすべての T L S C について 1 . 0 5 の計算されたスペクトル不整合因子と組み合わせられたキセノンアークランプ) の下で J - V 特性を得た。光強度を、K G 5 フィルタを有する N R E L で較正された S i 基準ダイオードを使用して較正した。位置依存性 E Q E L S C 測定は、較正された S i 検出器、モノクロメータ、チョッパおよび口 50

ックイン増幅器を有する Q T H ランプを使用して行った。それぞれの距離 (d) で測定された $E Q E_{L S C}(\quad)$ を、幾何学的ファクタ $g = \frac{1}{\tan^{-1}(L/2d)}$ を乗ずることによって補正し、これは、種々の励起距離 (d) でのエッジマウント P V に対する様々な角度を説明し、L は L S C 導波路長である。一連の $E Q E_{L S C}(\quad)$ スペクトルを、同じ T L S C デバイスを用いて取得し、次いで、平均スペクトルを使用して、デバイス全体を表し、統合して、同じデバイスの対応する J - V 特性からの $J_{S C}$ を確認した。J - V 測定および E Q E 測定の両方について、環境からの照明または反射 (ダブルパス) を排除するために、T L S C デバイスの背面にマットブラックバックグラウンドを配置した。すべての T L S C デバイスを、同じ S i または G a A s P V 電池を用いて試験して、性能におけるいかなる P V 対 P V の変動をも排除した。

10

【 0 1 8 5 】

(結果および考察)

クロロベンゼン溶液中に溶解し、ポリマーマトリックス中に埋め込まれた C O _i 8 D F I C の正規化された吸収および発光スペクトルを図 6 C にプロットする。溶液からポリマーマトリックスまで、吸収スペクトルおよび発光スペクトルの両方に浅色シフトがあり、吸収ピークは 7 7 0 n m から 7 4 5 n m にシフトし、発光ピークは 8 3 1 n m から 8 0 8 n m にシフトし、約 6 0 n m のストークスシフトを示す。測定された Q Y の吸収幅の増加は、クロロベンゼン溶液中で $23 \pm 1\%$ であり、ポリマーマトリックス中で $25 \pm 3\%$ である。これは、N I R 発光範囲に対して比較的高い Q Y であり、この範囲内の発光を有するほとんどの市販の量子ドットが 50% であることを考慮する。対照的に、C O _i 8 D F I C バンドギャップは、(有機 P V に適用される) 純フィルムにおいて低下し、その結果、報告された P V デバイスの外部量子効率 (E Q E) は、1 0 5 0 n m まで拡張することができる。ガラス上に純層 (neat layer) としてスピコートしたとき、対応する吸収スペクトルは約 1 0 0 0 n m で吸収開始を示すが、量子収率は L S C 構造中で純層が成長することができない点まで著しく減少する。したがって、ドーブされた L S C の構造におけるこの化合物の使用について研究がなされた。

20

【 0 1 8 6 】

さらに、C O _i 8 D F I C の吸収に関しては、溶液からポリマーマトリックスフィルムへのスペクトルのシフト、すなわち凝集およびソルバトクロミックシフトについて、2 つの説明の可能性がある。凝集は、典型的にはバンドギャップが減少する吸収の広がりをもたらし、図 8 A において、吸収スペクトルは、異なるポリマーホスト (E u k i t t 対 S h a n d o n) において測定され、吸収 / バンドギャップは変化せず、発光は中程度にシフトすることが見出される。凝集溶液はまた、図 8 B に示すように、T H F を水および純フィルムと混合することによって作製された。凝集体および純フィルムの吸収カットオフは、互いに非常に近く (オリーブ色曲線) 、溶液中のモノマーと比較して大きな深色シフト (約 1 0 0 n m) を示す。対照的に、溶液およびポリマーフィルムの吸収カットオフは、互いに非常に近い (青色曲線) 。したがって、これは、ポリマーホストの屈折率の差に関連するソルバトクロミックシフトである可能性がより高い。C O _i 8 D F I C バンドギャップは、溶液およびポリマーマトリックスと比較して、純フィルムおよび凝集体において低下し、対応する吸収開始も赤方偏移する。

30

40

【 0 1 8 7 】

T L S C デバイスを、 25.8 cm^2 の活性領域 (導波路長 (L) が 5.08 cm) を有する正方形ホウケイ酸ガラス板上に形成した。C O _i 8 D F I C 分子をジクロロメタンに溶解し、ポリマーホストと均一に混合した。次いで、この混合物をガラス板上にドロップキャストして、C O _i 8 D F I C / ポリマー複合フィルムを形成した。ジクロロメタン溶液中の C O _i 8 D F I C を種々の濃度で調製し、N I R における全吸光度を調整した。S i と G a A s との両方をエッジマウント P V として利用した。S i は性能の傾向を理解するために利用し、G a A s は熱損失を低減し、最大性能を実証するために配置した。C O _i 8 D F I C / ポリマー P L カットオフが、9 0 0 n m の G a A s E Q E カットオフに関して、ほぼ理想的に 8 7 5 n m に位置する限り、G a A s の利用が可能であることに

50

注意されたい。レーザでさいの目に切られた (laser-diced) Si PV電池 (または GaAs PV電池) を、2つの直交する縁部上に取付け、並列接続し、一方、他の2つの直交する端部を黒色に塗装した (実験セクションを参照されたい)。5つの異なる CO_2 濃度の TLSC デバイスを作製し、その光起電性能を特性評価した。比較のために、シアニン色素 Cy7-NHS を有する TLSC を参照デバイスとして加えた。これらの TLSC の電流密度対電圧 ($J-V$) 特性を図 9 A に示し、平均位置依存性外部量子効率 ($\text{EQELSC}(\lambda)$) スペクトルを図 9 B に示す。光起電パラメータおよび美観の質の評価 (AVT および CRI) を表 1 にまとめる。50 mg L^{-1} の最低濃度である TLSC は「Cy7-NHS」対照 ($1.01 \pm 0.07 \text{ mA cm}^{-2}$) と比較して 30% 高い短絡電流密度 (J_{sc} : $1.29 \pm 0.03 \text{ mA cm}^{-2}$) を示し、一方、同様の開回路電圧 (V_{oc}) およびフィルファクター (FF , fill factor) を示した。対応する AVT (84.4% 対 88.2%) および CRI (91.3 対 92.0) は非常に近い。 CO_2 濃度が 150 mg L^{-1} まで増加すると、 J_{sc} は $2.07 \pm 0.08 \text{ mA cm}^{-2}$ までさらに増加し、 AVT (74.4%) および CRI (80.0) はわずかに減少し、対応する PCE は $0.54 \pm 0.03\%$ に達する。濃度を 300 mg L^{-1} にさらに増加させると、 PCE が $0.61 \pm 0.05\%$ にわずかに改善され、 AVT (59.7%) および CRI (63) において有意な損失 (cost) があり、青色の色合いが増加する。

10

【0188】

【表1】

20

表1. TLSC の光起電および美観の質のパラメータ

デバイス	J_{sc} (mA cm^{-2})	$\text{Int. } J_{sc}$ (mA cm^{-2})	V_{oc} (V)	FF %	PCE %	AVT %	LUE %	CRI	(a^*, b^*)
Cy7-NHS	1.01 ± 0.07	1.03	0.42 ± 0.01	57 ± 1	0.24 ± 0.01	88.2	0.21	92.0	(-5.5, -0.8)
50 mg L^{-1}	1.29 ± 0.03	1.30	0.44 ± 0.01	57 ± 1	0.33 ± 0.01	84.4	0.28	91.3	(-6.0, -1.5)
100 mg L^{-1}	1.76 ± 0.09	1.71	0.46 ± 0.01	58 ± 1	0.47 ± 0.03	78.0	0.37	84.8	(-10.4, -2.8)
150 mg L^{-1}	2.07 ± 0.08	1.89	0.47 ± 0.01	56 ± 1	0.54 ± 0.03	74.4	0.41	80.0	(-13.5, -3.7)
150 mg L^{-1*}	1.54 ± 0.05	1.78	0.99 ± 0.01	81 ± 1	1.24 ± 0.04		0.92		
200 mg L^{-1}	2.13 ± 0.06	1.88	0.47 ± 0.01	57 ± 1	0.57 ± 0.03	67.4	0.38	72.0	(-18.6, -5.3)
300 mg L^{-1}	2.24 ± 0.04	2.12	0.48 ± 0.01	57 ± 1	0.61 ± 0.05	59.7	0.37	63.0	(-24.2, -6.7)
300 mg L^{-1*}	1.56 ± 0.08	1.77	0.99 ± 0.01	80 ± 1	1.24 ± 0.07		0.74		

30

*GaAs PVがエッジマウントされたTLSC

40

【0189】

$J-V$ 特性から抽出された J_{sc} は、 $\text{EQELSC}(\lambda)$ からの積分された J_{sc} によって確認される (図 9 B)。 EQELSC のピーク位置は図 6 C の吸収スペクトルと一致し、興味深いことに、 EQELSC 寄与の大きさは、可視光を通した O_2 濃度の中性吸収 (neutral absorption) プロファイルに起因する可視光領域に由来する。 EQELSC 測定において、粒子凝集による散乱またはエッジマウント PV の直接照明は、波長が増加することにつれて減少する EQELSC スペクトルのレイリー散乱の形状から直接特定でき、これは傾斜したバックグラウンドを発光団の頂点に重ね合わせる。PV の直

50

接照明は、エッジマウントPVの吸収カットオフまで延びるレベルバックグラウンドを発光団ピークに導入する。どちらの効果も、不正確なEQELSC測定および積分されたJ_{SC}の過大評価を引き起こし得る。短波長でのレイリー散乱も、長波長でのエッジマウントPV電池の直接照射も、EQELSCスペクトルでは観察されず、これは、EQE寄与が埋め込みCO_i8DFICのPLのみに由来することを確認する。

【0190】

CO_i8DFIC濃度がデバイスのスケーラビリティに及ぼす影響を調べるために、3つの異なるCO_i8DFIC濃度(50 mg L⁻¹、150 mg L⁻¹、300 mg L⁻¹)および「Cy7-NHS」のTLSCシステム(寸法:10.16×10.16 cm)を、励起源からエッジマウントPV電池までの距離(d)の関数として位置依存性EQELSCによって特性評価した。10 mm間隔でdが15 mmから95 mmに増加することにつれて、各TLSCシステムについて複数のEQEスキャンを行った。補正されたEQELSCピーク値を抽出し、図9Cにプロットする。

10

【0191】

「50 mg L⁻¹」(A()%=49.6%)の絶対吸収ピークの高さは「Cy7-NHS」対照(A()%=88.6%)よりも有意に低い、EQELSCピークの高さは図9Bに示すように互いに類似している。したがって、この30%のPCEの改善は主に、より広い吸収ピークおよびより高いQYに起因する。優れた発光特性は、光起電デバイスにおいてそのような高性能アクセプタになった理由の1つである可能性が高く、特に低いバンドギャップにおける高いQYは非放射モードの低減を意味する。「150 mg L⁻¹」について、吸収ピークの高さ(A()%=80.3%)および幅の増加がJ_{SC}の実質的な向上をもたらす。さらに濃度を増加させると、吸収ピークの高さはプラトーに達する(「300 mg L⁻¹」ではA()%=92.0%)が、幅の増加は着色(低いAVTとCRI)およびより大きな再吸収損失の両方につながる。これは対応するEQELSCスペクトルに反映される:「150 mg L⁻¹」と比較して、「300 mg L⁻¹」は、より広いEQELSCピーク幅を示すが、ピーク高さの減少を示す。正規化された位置依存性EQELSCピーク値の減衰傾向は、再吸収損失の挙動の解析に役立つことができる:「50 mg L⁻¹」が系列内で最も低い再吸収に起因する最も遅い減衰傾向を示す。より高い発光団濃度では「150 mg L⁻¹」がより急速な減衰曲線を示すが、「Cy7-NHS」対照よりも依然としてわずかに遅い。最後に、最高濃度では、「300 mg L⁻¹」および「Cy7-NHS」が系列内で最高の再吸収損失のために、非常に類似した「ロールオフ」挙動を共有する。スケーラビリティ、美観の質、および光起電性能を考慮すると、150 mg L⁻¹が最適濃度であることを見出している。

20

30

【0192】

図10~10Cおよび表2に示すように、最新技術に対する増強の原因をさらに明確にするために、以前に報告されたCy7-NHSからCO_i8DFICに移行すると、QYが20%から25%に改善し(1.25倍増)、波長選択的吸収が1.63倍に増え、PCEがほぼ倍増している。

【0193】

40

【表 2】

表 2. 波長選択的吸収の割合、Cy7-NHSとCO_i8DFIC 150 mg L⁻¹との QYおよび Int. J_{sc}の比較；可視光の寄与の有無にかかわらず、因数は実用的限度に達する。

発色団	吸収された 総ソーラー光子 (#m ⁻²)	QY %	Int. J _{sc} (mAcm ⁻²)	V _{oc} (V)	FF %	PCE %
Cy7-NHS	4.28×10 ²⁰	20±1				
CO _i 8DFIC	6.98×10 ²⁰	25±3				
割合	6.98/4.28=1.63	25/20=1.25	詳細は表3を参照			
実用的限界-1 (0% VIS 寄与)	9.14×10 ²⁰	100	10.3	1.05	80	8.65
実用的限界-2 (20% VIS 寄与)	1.11×10 ²¹	100	13.5	1.05	80	11.34

10

【0194】

光起電性能を調べるために、異なるGファクタ(G factor)、エッジマウントPVおよび発光団を有するT L S C、異なるGファクタを有する正方形T L S Cデバイス：導路長10.16 cm、厚さ3.175 mmおよびGファクタ8、を作製して試験した。図11A~11Bに示すように、積分された電流密度の平均は、CO_i8DFIC濃度が150 mg L⁻¹の1.78 mA cm⁻²と比較して、0.95 mA cm⁻²である。V_{oc}およびFFは類似し、PCEは0.75%であると推測される。

20

【0195】

さらに、GファクタとエッジマウントPVとが同じに維持されるので、CO_i8DFICからのPCEの向上は、Cy7-NHSと比較して、常に80~100%である(表3参照)。SiからGaAsへの移行は、V_{oc}およびFFをそれぞれ2.2倍と1.4倍に向上させる。したがって、発光団および整合PV電池からのPCEの改善は、同様に重要であることが分かる。

30

【0196】

【表 3】

表 3. 図 11 A~11 B に示す、異なるエッジマウント PV、Gファクタおよび発光団を有する T L S C の光起電パラメータの要約

#	発光団	PV	G	Int. J _{sc} (mAcm ⁻²)	V _{oc} (V)	FF %	PCE %
1			8	0.56	0.45	57	0.14
2		Si	2	1.03	0.42	57	0.25
3	Cy7-NHS	-----	8	0.50	0.99	80	0.40
4		GaAs	2	0.91	0.99	80	0.72
5		-----	8	1.10	0.45	57	0.28
6		Si	2	1.89	0.47	56	0.54
7	CO _i 8DFIC	-----	8	0.95	0.99	80	0.75
8		GaAs	2	1.78	0.99	80	1.41

40

【0197】

図 10 C および表 2 に示すように、QYを25%から100%に改善すると、PCEを

50

4倍(1.3%から5.2%に)増加させることができる。しかしながら、よりシャープな吸収スペクトルカットオフ(例えば、誘電体ミラーを用いて)でUVおよびNIR吸収効率を改善することによって、1.31倍(PCEが5.2%から6.8%)をもたらす。一方、再吸収を抑制するために発光スペクトルをさらに同調することは、1.26倍の増強(PCEが6.8%から8.6%)をもたらす。435~675nmから20%のVIS光を吸収することにより、積分された J_{SC} を 10.3 mA cm^{-2} から 13.5 mA cm^{-2} (30%増強)にさらに改善することができ、PCEを>11%まで高めることができる。これはいくつかの重要な点を強調する: 1) QYのように吸収効率を増加させることによって得られることがほとんどであり、2) UV+NIRを選択的に取込むことは最高効率に達するためにより効果的である。全体として、10%以上の最適化された効率はこのクラスの材料で達成可能であり、5%以上の効率(AVT>70%を伴う)は、QYが50%に近づきつつ来てわずかな増進で達成可能である。

10

【0198】

再吸収は、これらのNIR選択的取込みTLSCデバイスにおいて依然として主要な損失メカニズムであり、それらの適用をより小面積の適用に限定し得る。しかしながら、ストークスシフトも、正規化された吸収スペクトルおよび発光スペクトル(図6C)も、種々のCO₂DFIC濃度であるデバイスにおける実際のスケラビリティを反映していない。また、図12A~12Fに示すように、各波長における光子バランスを使用して、 $E_{QE_{LSC}}(\lambda) + T(\lambda) + R(\lambda) = 1$ であるすべての透明光起電デバイスを確認した。この挙動を定量化するために、重なり積分(OI)と呼ばれる有用な設計パラメータを導入し、LSCシステムにおける再吸収損失を都合よく相関させた。Cy7-NHSおよびCO₂DFICの発光幅は互いに明確に異なるので、それらの対応する発光スペクトルによってOIを正規化して、式(2)を使用して任意のスペクトル形状の差を説明した:

20

【0199】

【数3】

$$OI^* = \frac{\int_0^\infty A(\lambda) PL^*(\lambda) d\lambda}{\int_0^\infty PL^*(\lambda) d\lambda} \quad (2)$$

30

【0200】

PL()は、ポリマーマトリックスフィルム中の有機エミッタの発光スペクトルである。OI*は厚さおよび/または濃度に依存する修正された重なり積分であり、より低いOI*はより高性能であり、スケラビリティを改善するために望ましい。最低スケリングから最高スケリングまでの計算されたOI*の傾向は「50mgL⁻¹」(0.249)、「150mgL⁻¹」(0.467)、「Cy7-NHS」(0.470)および「300mgL⁻¹」(0.618)であり、これらのTLSCの減衰傾向とよく一致する。

【0201】

40

TLSCデバイスの独立した $E_{QE_{LSC}}(\lambda)$ 、透過スペクトル(T())および反射スペクトル(R())の測定から、光子バランスの妥当性を確認するために、図13Aの「150mgL⁻¹」において、それぞれの波長で $E_{QE_{LSC}}(\lambda) + T(\lambda) + R(\lambda) = 1$ を満たしている。関与する残りのTLSCデバイスの光子バランスチェックを図12A~12Fに示す。位置依存性 $E_{QE_{LSC}}$ スペクトルの最高 $E_{QE_{LSC}}(\lambda)$ (図9Bの平均ではなく、むしろ最小のdで得られる)を、この関係で使用して、系列全体が光子バランスを満たすことを確実にする。

【0202】

CIELAB色空間座標(a*, b*)は、窓産業における透過光のレンダリングされた色忠実度を定量化するための主要な性能指数である。入射AM 1.5Gは原点(0,

50

0) (無色に近い (neutral) として) にあり、T L S C の (a^* 、 b^*) 位置が図 1 3 B にプロットされている。V I S (ほとんどが赤色) に広がる N I R 吸収ピークのテール吸収があるので、T L S C はすべて、 a^* および b^* が負の値を有する。「 50 mg L^{-1} 」および「C y 7 - N H S」の座標は非常に近く、T L S C 写真において観察できる (図 1 3 D)。C O _i 8 D F I C の濃度が高くなるにつれて、位置はほぼ直線に沿って原点から離れるように移動し、レンダリングされた色は次第に青みを帯びるようになる。最高濃度において、座標 (a^* 、 b^*) は示されるスケールの外側に移動し、「 300 mg L^{-1} 」ではもはやグレーディングシステムに適していないことを示す。

【0203】

L S C デバイスの出力電圧は、エッジマウント P V 電池によって決まる。理想的には、発光団の発光端に隣接するバンドギャップを有する P V 電池を使用することにより、電圧損失 (P V における熱化損失の低減) を効果的に低減し、P C E 全体を改善することができる。エッジマウント P V のバンドギャップをさらに増加させると、出力電圧と回収可能な電流との間の直接的なトレードオフをもたらすことができる。900 nm 付近の C O _i 8 D F I C 発光ピーク端では、G a A s が C O _i 8 D F I C 発光ピーク端に最も近い E Q E カットオフを有するほぼ理想的な P V である。したがって、G a A s P V 電池を「 150 mg L^{-1} 」および「 300 mg L^{-1} 」の T L S C 上に集積し、S i P V を置換することが、この潜在的改良の一例である。J - V 曲線を図 1 3 C にプロットする。G a A s を使用した「 150 mg L^{-1} 」デバイスの測定した J_{SC} は $1.54 \pm 0.05 \text{ mA cm}^{-2}$ であり、 V_{OC} は $0.99 \pm 0.01 \text{ V}$ と、および F F は $81 \pm 1\%$ と有意に改善され、P C E は $1.24 \pm 0.04\%$ となる。「 300 mg L^{-1} 」は、「 150 mg L^{-1} 」と非常に類似した光起電性能を示す。平均 E Q E _{L S C} スペクトルは図 1 3 C の挿入図に示すように、E Q E _{L S C} 値幅がわずかに広く、「 300 mg L^{-1} 」のピーク高さは「 150 mg L^{-1} 」のそれよりも低いが、可視光範囲からの寄与が大きいため、「 150 mg L^{-1} 」および「 300 mg L^{-1} 」の積分された J_{SC} 値はそれぞれ 1.78 mA cm^{-2} と 1.77 mA cm^{-2} であり、J - V 特性からの J_{SC} とよく一致する。

【0204】

L U E は、同じスケールで A V T の全体レベルが異なる透明 P V デバイスを系統的に比較するための測定基準を提供する。T L S C デバイスの L U E は、図 1 3 B の挿入図において、それらの A V T の関数としてプロットされている。S i エッジマウント P V では「C y 7 - N H S」対照 T L S C は L U E が 0.21 であり、C O _i 8 D F I C T L S C の L U E は「 150 mg L^{-1} 」では 0.41 にピークを有する。濃度をさらに増加させると、P C E をわずかに改善することができるが、A V T を劇的に減少させる。G a A s P V では、「 150 mg L^{-1} 」および「 300 mg L^{-1} 」の L U E 値がそれぞれ 0.92 および 0.74 である。知る限り、「 150 mg L^{-1} 」は、A V T が 70% を超え、P C E が 1.2% を超える T L S C デバイスについての最初の報告である。以前に報告された L S C / T L S C 性能パラメータの概要を比較のために表 4 に示す。

【0205】

10

20

30

40

50

【表 4】

表 4. 報告された L S C / T L S C デバイスの概要

発光団	QY %	サイズ (cm ²)	AVT %	CRI	PCE %	LUE %
CO _i 8DFIC (本研究)	25±3	5.08×5.08	74.4	80.0	1.24	0.92
(TBA) ₂ Mo ₆ Cl ₁₄ NCs	50-55	2.5×2.5	84.0	94.0	0.44	0.37
Cy7-NHS	20±1	2×2	86.0	94.0	0.40	0.34
Cy7-NEt ₂ -I	26±1	5.08×5.08	77.1	75.6	0.36	0.28
CdSe/Cd _{1-x} Zn _x S	40	10.16×10.16	84.8	91.0	N/A ^{c, e, f}	N/A
Si QDs	46±5	12×12	83.0 ^a	84.1	N/A ^{c, e, f}	N/A
CdSe/CdS	45	21.5×1.35	94.9 ^a	89.2	N/A ^{c, e, f}	N/A
CuInS ₂ /ZnS	56	2.2×2.2	N/A ^b	N/A	8.71 ^{d, f}	N/A
gem-ピレンエテン	52	2.5×2.5	N/A ^b	N/A	0.32	N/A
SINc:t-U(5000)	16 (UV) 8 (NIR)	7.6×2.6	99.0 ^a	97.7	N/A ^e	N/A
CuInS ₂ /ZnS	66	10×10	43.7 ^a	76.9	2.18	0.95
Mn:Cd _x Zn _{1-x} S/ZnS	78±2	15.24×15.24 ^d	88.8 ^g	95.5	1.3 ^{c, d, f}	1.15
CuInSe ₂ /ZnS	65-75		8.5 ^g	0.42	1.8 ^{c, d, f}	0.15
CuInSe _x S _{2-x} /ZnS	40±4	12×12	45.6 ^a	77.1	N/A ^{c, e, f}	N/A
Cu:CdSe/CdS NPLs	~40	10×10	N/A ^b	N/A	0.003 ^{h, f}	N/A
CuInS ₂ /CdS NCs	~45	7.5×7.5	70.1 ^a	82.2	N/A ^{c, e, f}	N/A
PbS/CdS	40-50	2×1.5	53.0 ^a	65.6	N/A ^{c, e, f}	N/A
CdSe/Cd _x Pb _{1-x} S	40	7×1.5	N/A ^a	N/A	1.15 ^{c, e, f}	N/A
Mn:ZnSe	53	2.5×7.5	N/A ^b	N/A	N/A ^{c, e, f}	N/A
CdSe/CdS	82	2×2	N/A ^b	N/A	N/A ^{c, e, f}	N/A
bPDI-3 LR 305	97.7	20×20	56.0 ^a	57.0	1.90 ^{d, f}	1.06
LR 305 CRS 040	-	5×5	N/A ^b	N/A	7.1 ⁱ	N/A
ルブレン Pt(TPBP)	~50	2.5×2.5	N/A ^b	N/A	N/A ^e	N/A

【0206】

これらの非フラレンアクセプタが L S C および T L S C 開発のための説得力のあるプラットフォームであることを示すために、第 2 の一般的な非フラレンアクセプタ I E I C O - 4 F (図 1 4 A) を特性評価し、T L S C のための発光団として統合する。対応する A ()、P L ()、および E Q E L S C () (図 1 4 B ~ 1 4 D) は、ポリマーマトリックス (E u k i t t) において 2 0 ± 2 % のわずかに低い Q Y を有する C O _i 8 D F I C と同様である。これは、このクラスの低バンドギャップ有機分子の有益な特性を補強する。

【0207】

スペクトル吸収範囲はほぼ理想的であり、G a A s (すでにショックレー - クワイサー限界に近い) に十分に結合しているので、このデバイス配置 / 分子モチーフによる実用的限界は、N I R 発光団の Q Y の 2 5 % (測定値) から約 9 0 % ~ 1 0 0 % への改善のみを考慮することによって推定することができる。これは、例えば、コア分子モチーフへの化

学修飾を使用して、剛化を介した非放射モードを低減することによって達成することができる。この限界では、PCEが同じ高レベルのAVTでちょうど5%を超える効率に達し、一方、7%の記録不透明LSCに近づく。10%を超える実用的限界は、このアプローチで達成可能である。

【0208】

要約すると、非フラーレンアクセプタを、発光団としてLSCおよびTLSCに導入した。有機光起電においてブロックバスターアクセプタとなることが明らかになり、また優れた発光特性を有するCO_i8DFICを広範囲に研究した。CO_i8DFICの濃度がPCE、美観の質およびスケラビリティに及ぼす影響を系統的に研究した。デバイスの最適化後、TLSCは、1.2%を超えるPCEを達成することが示され、一方、AVTは74%を超え、CRIは80を超える。本実施例は最高の視覚的な透明性において最高のTLSCデバイス効率を報告し、これらの低バンドギャップ有機分子のフォトルミネセンス特性がより高いTLSC性能を提供することを強調する。

10

【0209】

〔実施例2〕

視覚的に透明である発光型太陽光集光器(TLSC)は、太陽スペクトルの紫外線(UV)、近赤外線(NIR)部分を選択的に取込み、入射太陽エネルギーを電力に変換する。TLSCの主要な用途には建物のエンベロープ、温室、自動車、看板、およびモバイルエレクトロニクスが含まれるので、美観および機能性を維持することは実際の配置において高い電力変換効率(PCE)を達成することと同じくらい重要である。本実施例では、大規模ダウンシフト燐光ナノクラスター(NC)および蛍光有機分子の両方を、それぞれUVおよびNIR選択的取込み発光団としてTLSCシステムに導入する。PCEが3%を超えるUVおよびNIRデュアルバンド選択的取込みTLSCが実証され、一方、平均可視光透過率(AVT)は75%を超え、演色評価数(CRI)が90付近である。入射太陽スペクトルの不可視部分の異なる波長選択性および効果的な利用により、本実施例は最高の透明度において最高のTLSC PCEを報告し、透明太陽光技術の商業化への道筋を実証する。

20

【0210】

(はじめに)

建材一体型光起電技術(BIPV)は、新規および既存のインフラストラクチャ表面を発電源に変換することができ、伝送における電気損失を劇的に低減する。入射太陽エネルギーからの出力を最大化するために、統合は、正面および屋上領域の両方を含む建物エンベロープ全体にわたって展開されるべきである。側面および窓領域については、これは美観の質がBIPVによって損なわれないことを必要とする。視覚的に透明である光起電(TPV)技術は太陽スペクトルのUVおよびNIR部分を選択的に取込み、可視(VIS)光が通過することを可能にし、光の不可視部分を電気に変換してオンサイトエネルギー需要を供給する。加えて、TPVはまた、温室、(電気)自動車、(自律)モバイルエレクトロニクスおよびテキスタイルを含む他のより小さな領域に容易に統合することができ、エネルギー利用効率を実質的および遍在的に改善する。

30

【0211】

TPV技術の実用的な展開は、良好な美観の質(高いAVTおよびCRI)を有する高いPCEを必要とする。したがって、太陽スペクトルの不可視部分における光の取込みを最大化し、同時に、UV/VISおよびVIS/NIR境界における吸収カットオフ端を正確に微調整して、可視光透過率(435~675nm)を最大化することが有益である。過去5年間、TPVにおいて高いPCEと可視光透明性との両方を達成するための努力がなされてきた。例えば、有機金属ハロゲン化物ペロブスカイト材料のバンドギャップをUV選択的取込みTPVのための複合エンジニアリングによって注意深く調整された；一連の新規な低バンドギャップポリマーナードナーおよび非フラーレンアクセプタが有機PVデバイスに適用され、明確なNIR選択性を有する優れた光起電性能が実証された；VIS光子のための光出力結合層(optical outcoupling layer)、NIR光子のための分布

40

50

B r a g g 反射器、および種々の種類の透明電極の利用は、可視光透明性および不可視光子の利用を同時に強化することができる。現在、薄膜 T P V の P C E は約 8 ~ 1 0 % に達しているが、電極、活性層、および非理想的な波長選択性からのかなりの寄生吸収のために、報告されている最高の A V T は約 4 0 ~ 5 0 % である。

【 0 2 1 2 】

代替的に、透明型発光太陽光集光器 (T L S C) は、導波フォトルミネセンス (P L) を介して、太陽エネルギー変換を、エッジマウントされた従来の P V 電池に光学的にシフトさせる。活性領域上に電極が存在しない場合、構造的単純性は、異なる波長選択性を有する T L S C が可能な限り高い可視光透明性を達成することを可能にし、薄膜 T P V の課題のいくつかを回避し、製造を単純化する。N I R 取込みを伴う T S L C に関する以前の研究の多くは、光利用効率 (L U E 、 P C E × A V T に等しい) が 0 . 7 に対して、7 0 % を超える A V T 、制限された U V 捕捉および約 1 % までの P C E を有する吸収プロファイルを有する。報告された最も高い半透明 L S C デバイスは、2 . 2 % の P C E を報告し、A V T は 4 4 % (L U E は 0 . 9 7) であり、茶色の色合いである。種々の波長選択性を有する複数の発光団を L S C 導波路に組み込んで、光取込みのスペクトル範囲を最大化し、光起電性能を高め、色中立性のバランスをとることができる。ここでは、高ルミネセンス燐光ナノクラスターおよび蛍光有機分子を、それぞれ単離 U V および N I R 選択的取込み発光団として T L S C に導入する。7 0 % を超える Q Y および N I R へのルミネセンスの大幅なダウシフトを示しながら、ナノクラスターは U V 光子を選択的に取込む。これらのエミッタを効果的に対し、N I R 吸収有機蛍光団におけるナノクラスター発光の寄生再吸収損失を防止するために、吸収 / 発光バンドを分離するための効果的な戦略が示されている。対応するデュアルバンド選択的取込み T L S C は、不可視光子の有効利用および発光団の高いフォトルミネセンス量子収率 (Q Y) のために、3 % を超える P C E を示す。異なる U V および N I R 選択性は、優れた美観の質 (7 5 % を超える A V T および 9 0 付近の C R I) を有する T L S C を提供する。これらのデュアルバンド T L S C はまた、3 0 0 時間の一定の照明にわたって最小の劣化で良好な光安定性を示す。本実施例は、(知る限り) 最高の P C E を有する T L S C デバイスを報告するだけでなく、美観の点で太陽スペクトルを効果的に利用する新規なデザインを実証する。

【 0 2 1 3 】

(実験)

< ナノクラスターの合成 >

1) $Cs_2Mo_6I_{14}$: MoI_2 粉末 (2A Biotech) を CsI 粉末 (Sigma-Aldrich) と、3 : 1 の化学量論比率で均一に混合した。次いで、混合物を石英アンブル (長さ 1 2 c m 、直径 1 . 5 c m) に移し、アンブルを真空下で密封した。アンブルを 7 5 0 の反応温度で 7 2 時間加熱し、 $Cs_2Mo_6I_{14}$ を形成した。室温まで冷却した後、アンブル中の粉末をアセトン (ワイン色の透明な溶液) に溶解し、溶解していない不純物 (未反応の黒色粉末) を濾過した。 $Cs_2Mo_6I_{14}$ 溶液のアセトン溶媒をロータリーエバポレーターで乾燥させ、赤色の $Cs_2Mo_6I_{14}$ 粉末が形成した。

【 0 2 1 4 】

2) $Cs_2Mo_6I_8(CF_3CF_2COO)_6$: $Cs_2Mo_6I_{14}$ を秤量し、アセトンに溶解し、次いでペンタフルオロプロピオン酸銀 (CF_3CF_2COOAg) (Sigma-Aldrich) を $Cs_2Mo_6I_{14}$ 溶液に化学量論比 6 : 1 で添加した。反応を暗所および窒素雰囲気中で 4 8 時間維持した。配位子交換反応後、沈殿物 AgI を濾過し、ロータリーエバポレーターで溶液を乾燥させ、オレンジ色の $Cs_2Mo_6I_8(CF_3CF_2COO)_6$ 粉末を得た。 $Cs_2Mo_6I_8(CF_3COO)_6$ または $Cs_2Mo_6I_8(CF_3CF_2CF_2COO)_6$ のナノクラスターは、 $Cs_2Mo_6I_{14}$ と、 CF_3COOAg もしくは $CF_3CF_2CF_2COOAg$ とを同様の方法で反応させることによって調製することができる。

【 0 2 1 5 】

3) CO_i8DFIC を上述のように合成した。図 1 5 に示した反応スキームに基づい

てBODIPYを合成した。

【0216】

<モジュール製作>

1) UV構成要素：Cs₂Mo₆I₈(CF₃CF₂COO)₆のナノクラスター粉末を秤量し、エタノールに溶解して、目標濃度の溶液を調製した。エタノール溶液を、封入剤(Fluoroshield F6182、Sigma-Aldrich)と1:2の体積比で混合した。

【0217】

2) NIR構成要素：BODIPYまたはCO_i8DFIC粉末をジクロロメタンに溶解し、溶液を調製した。ジクロロメタン溶液を、封入剤(Shandon、Thermo Fisher Scientific)と1:1の体積比で混合した。この混合物を50.8mm×50.8mm×6.35mm(J-V特性評価および平均EQELSCの測定用)および101.6mm×101.6mm×6.35mm(位置依存性EQELSC用)のホウケイ酸ガラス板上にドロップキャストし、窒素ガス(O₂、H₂O<1ppm)を充填したグローブボックス中で6時間乾燥させた。乾燥後、2つの構成要素を、UV硬化エポキシ(DELTA)によって、2つの複合フィルムが互いに面している端部の周りに一緒に封入した。エッジマウントGaAs PV(Alta Devices)を、受け取ったまま使用した。J-V測定用に、2つのPV帯を、屈折率整合ゲル(Thorlabs)を使用して直交する端部上に取付けることによって、PV帯を導波路の端部上に取付けて並列に接続した。残りの2つの端部は、光および光の内部反射を遮断するために黒色に塗装した。EQELSC測定用に、1つのPV帯を導波路の1つの端部を取付け、他の3つの端部を黒色に塗装した。

【0218】

<光学特性評価>

TLSCデバイスの正透過率(T())を、ダブルビームLambda 800 UV/VIS分光計を使用して透過モードで測定した。固体フィルムTLSCの透過率測定のために参照ビーム側に参照サンプルを配置しなかった。TLSCの反射率(R())も、試料ビーム側に設置された正反射アクセサリを有するLambda 800 UV/VIS分光計を使用して測定した。吸収スペクトルは次の式によって得られた： $A() = 1 - T() - R()$ 。ポリマーマトリックス中のNC、BODIPYおよびCO_i8DFICのPLを、PTI QuantaMaster 40分光蛍光光度計を使用して、400nm、650nmおよび650nmでそれぞれ励起して測定した。フォトルミネセンス量子収率を、Hamamatsu Quantaaurus蛍光光度計を用いて試験した。

【0219】

<モジュール光起電特性評価>

Keithley 2420 SourceMeterを使用して、シミュレートされたAM 1.5Gソーラー照明(試験されたすべてのTLSCについて1.05の計算されたスペクトル不整合因子と組み合わされたキセノンアークランプ)の下でJ-V特性を得た。光強度を、KG5フィルタを有するNRELで較正されたSi基準ダイオードを使用して較正した。位置依存性EQELSC測定は、較正されたSi検出器、モノクロメータ、チョッパおよびロックイン増幅器を有するQTHランプを使用して行った。それぞれの距離(d)で測定されたEQELSC()を、幾何学的因子ファクタ = $1 / \tan^{-1}(L/2d)$ を乗ずることによって補正し、これは、種々の励起距離(d)でのエッジマウントPVに対する様々な角度を説明し、LはLSC導波路長である。一連のEQELSC()スペクトルを、同じTLSCデバイスで取得し、次いで、平均スペクトルを使用して、デバイス全体を表し、統合して、同じデバイスの対応するJ-V特性からのJ_{SC}を確認した。J-V測定およびEQE測定の両方について、環境からの照明または反射(ダブルパス)を排除するために、TLSCデバイスの背面にマットブラックバックグラウンドを配置した。すべてのTLSCデバイスを同じSiまたはGaAs PV電池で試験して、性能におけるいかなるPV対PVの変動をも排除した。

【0220】

(結果)

10

20

30

40

50

デュアルバンド T L S C デバイスは図 1 6 A に示すように、2 つの分離された導波路から構成され、U V 構成要素は 1 つの導波路にあり、N I R 構成要素はもう一方にある。エアギャップを利用して、各パネル内の導波発光を光学的に分離し、寄生再吸収を防止し、スケーラビリティを高める。より実用的な展開のために、これは、性能の変化がほとんどない低屈折率ポリマー、金属酸化物、ガラス、または接着剤で置き換えることができる。

【 0 2 2 1 】

上部の U V 構成要素は、高燐光六核ナノクラスターに基づいている ($Cs_2Mo_6I_8(CF_3CF_2COO)_6NC$ の化学構造を図 1 6 B に示す)。合成の詳細は、実験セクションで提供する。導波路は、NC / ポリマー混合物を正方形ホウケイ酸ガラスシート上にドロップキャストリングして均一な複合フィルムを形成することによって作製した。10
ポリマー中の NC の正規化された吸収および発光スペクトルは図 1 6 B にも示されており、スペクトルは、U V / V I S 境界でのバンド吸収カットオフおよび V I S / N I R 境界での N I R 発光開始を示し、ポリマーマトリックスにおいて、300 nm を超える大幅なダウンスフトおよび 75 ± 5 の対応する Q Y を示し、これは、NC を、T L S C 適用のための良好な U V 選択的取込み発光団にする。

【 0 2 2 2 】

下部の導波路は、有機色素分子に基づく。有機および分子半導体において、光吸収は基底状態から励起された分子軌道への遷移から生じる。励起された分子状態間のエネルギー差は、状態密度に不連続性を形成する。したがって、これらのエネルギーギャップは、T P V 適用において可視光子を透過するために調整することができる。本研究において、2
20
2 つの異なる有機発光団を N I R 選択的取込み器として使用した：優れた性能を有する有機発光起電において非フラレンアクセプタとして開発された $CO_i8DFIC(O6T-4F)$ (とも示される)；および N I R において高量子収率を有する新規 B O D I P Y 分子 (合成の詳細は実験セクションで提供する)。ポリマーマトリックス中のこれらの N I R 構成要素の分子構造、正規化された吸収および発光スペクトルをそれぞれ図 1 6 C および 1 6 D に示す。同様に、N I R 選択的取込み導波路は、均一な複合フィルムを形成するために、ガラスシート上に染料 / ポリマー混合物をドロップキャストリングすることによっても作製された。 CO_i8DFIC の吸収ピークは 745 nm、発光ピークは 808 nm であり、ポリマーマトリックス中で約 60 nm のストークスシフトおよび 25 ± 3 の Q Y を示した。 CO_i8DFIC と比較して、B O D I P Y の吸収ピークは狭く、ストークスシフトは小さいが、40 ± 3 % の有意に高い Q Y は N I R 発光領域の最高値であった。酸素は三重項励起子を吸収して一重項酸素種を形成することができ、これは NC における非放射再結合速度を増加させるので、Q Y は酸素に曝露されると有意に減少し得る。したがって、2 枚の複合フィルムを対向させて導波路の端部に沿ってエポキシで導波路を封入する必要がある。

【 0 2 2 3 】

L S C の場合、発光団の発光端に隣接するバンドギャップを有するエッジマウント P V 電池を選択することが理想的である。これは、熱化による電圧損失を最小限に抑えながら、すべての導波 P L を回収し、変換することを可能にする。図 1 6 B、1 6 C および 1 6 D に示すように、NC、 CO_i8DFIC および B O D I P Y の 3 つの発光端すべてが 9
40
900 nm 未満であり、したがって、GaAs は性能を最大にするための、これらの発光団のためのほぼ理想的なエッジマウント P V 電池の選択である。したがって、GaAs 電池は E Q E 測定のためにデュアル導波路の一方の端部上に、および J V 測定のために 2 つの側部上に取付けられ、この場合、両方ともそれゆえに、等価な 4 つのエッジマウントについて補正される。

【 0 2 2 4 】

2 つの発光団の組合せ (NC + CO_i8DFIC および NC + B O D I P Y) を有するデュアルバンド T L S C デバイスを作製し、その光起電性能を特性評価した。比較のために、NC のみ (10 mg / mL) を有する T L S C を参照デバイスとして加えた。図 1 7 A に、A M 1 . 5 G 照明下で測定した T L S C (5 . 0 8 × 5 . 0 8 c m ² の活性領域 50

の電流密度対電圧 ($J - V$) 特性を示す。NCのみのTLSCは $2.5 \pm 0.2 \text{ mA cm}^{-2}$ の短絡電流密度 (J_{SC})、 $1.01 \pm 0.01 \text{ V}$ の開回路電圧 (V_{OC})、および $80 \pm 1\%$ のフィルファクタ (FF) を示し、 $2.0 \pm 0.1\%$ のPCEをもたらす。同じUV構成要素を有するTLSCに有機色素が添加されると (NC濃度は 10 mg/L に維持される)、 J_{SC} は $3.6 \pm 0.2 \text{ mA cm}^{-2}$ および $3.8 \pm 0.1 \text{ mA cm}^{-2}$ に改善される一方、同様の V_{OC} および FF を示し、NC + CO_i8DFIC および NC + BODIPY TLSC について、それぞれ $2.9 \pm 0.1\%$ および $3.01 \pm 0.07\%$ に達する対応するPCEをもたらす。図17Bに、平均位置依存性外部量子効率 ($EQEL_{SC}(\lambda)$) スペクトルを示す。NCのみのTLSCでは、 $EQEL_{SC}$ 寄与がUV選択的取込みNCの吸光のみに由来する。 $EQEL_{SC}$ プロファイルからは、粒子凝集によるレイリー散乱もエッジマウントPVの直接照明も観察されない。これはまた、デバイスからのヘイズが非常にわずか ($< 10\%$) であることを確認する。NC + CO_i8DFIC および NC + BODIPY TLSC では、UV および NIR ピークの両方がそれらの対応する $EQEL_{SC}$ スペクトルに現れ、これはデュアルバンド選択的取込みに起因する。 $EQEL_{SC}$ ピークの位置は、対応する発光団の吸光スペクトルと一致する。 $EQEL_{SC}$ ピークの高さは、発光団のQY値と絶対吸収スペクトルとの両方によって決定される。同じUV構成要素を使用すると、NC寄与は、3つのTLSCすべてについてほぼ同じである。BODIPYの絶対吸収ピークがわずかに高く、QYが有意に高くなると、これらのデバイスの大きさについて、CO_i8DFICのものと比較して、 $EQEL_{SC}$ ピークが実質的に高くなる。光起電デバイスについてもっとも重要な一貫性検査の1つとして、 $EQEL_{SC}(\lambda)$ からの積分された J_{SC}

10

20

【0225】

【数4】

$$J_{SC}^{Int}$$

【0226】

によって $J - V$ 特性から抽出した J_{SC} を確認する。NCのみ、NC + CO_i8DFIC および NC + BODIPY TLSC それぞれについて、

【0227】

【数5】

$$J_{SC}^{Int}$$

【0228】

の値が 2.42 mA cm^{-2} 、 3.60 mA cm^{-2} および 3.89 mA cm^{-2} であり、 $J - V$ 曲線からの J_{SC} とよく一致する。NC + BODIPY TLSC における BODIPY の $EQEL_{SC}$ ピークは NC + CO_i8DFIC TLSC のピークよりも高いが、CO_i8DFIC の広い吸収幅はその低い吸収ピークおよび QY を補填し、NIR 構成要素からの同様の寄与をもたらす。

40

【0229】

一連の位置依存性 $EQEL_{SC}$ スペクトルを使用して、LSCシステムのスケラビリティを理解することができる。デュアルバンドTLSCシステムをより大きな寸法 ($10.16 \times 10.16 \text{ cm}^2$) で作製し、NC + CO_i8DFIC および NC + BODIPY TLSC それぞれについて、種々の d での一連の $EQEL_{SC}$ を図17C および 17D にプロットする。 d は正方形導波路の中心線に沿った入射励起ビームとエッジマウントPV電池との間の距離である (詳しくは実験セクションを参照されたい)。各個々のスキヤンのUVおよびNIRピーク値の両方を抽出し、正規化し、図17E および 17F 中の d の関数としてプロットした。NCのみ、CO_i8DFICのみおよびBODIPYのみのTLSCも参考として作製した。NCの大幅なダウンシフトにより、再吸収損失はごく

50

わずかであるため、NCのみ、NC + CO_i 8DFICおよびNC + BODIPY TLSCのUVピーク値は、dが増加するにつれてほぼ定数に保たれる。NCを効率的なダウンコンバータに置き換えて、吸収されるUV光子ごとに2つ以上のNIR光子またはIR光子が放出させることが可能であることに留意されたい。しかしながら、CO_i 8DFICおよびBODIPYの両方についての吸収スペクトルと発光スペクトルとの間の著しく強い重複のために、再吸収損失は、UVピークと比較して、NIRピーク値のより顕著な減衰をもたらす。図17Eおよび17Fに示すように、デュアルバンドTLSCのUVおよびNIRピーク減衰挙動はそれぞれ、NCのみ、CO_i 8DFICのみ、およびBODIPYのみのTLSCのものと強く似ている。EQELSCスペクトルの各範囲における減衰傾向の類似性を考慮すると、導波路の分離は各導波路内の全反射を効果的に可能にし、その結果、UVおよびNIR構成要素が独立して作動する。 10

【0230】

美観の質は、任意のTPVデバイスの光起電性能と同様に重要であり、これはTPVデバイスが特定の実用的な用途において展開することができるかどうかを決定する。NCのみ、NC + CO_i 8DFICおよびNC + BODIPY TLSCの透過率スペクトル(T())を、比較のためにヒトの眼の明所視反応(V())と共に図18Aにプロットする。NCはUV/VIS境界で吸収カットオフ端を示し、BODIPYは、VIS/NIR境界でNIRバンド吸収開始を示す。しかしながら、CO_i 8DFICの広いNIR吸収は赤色/NIR領域に広がり、わずかに青色の色合いを有するより低い可視光透過率をもたらす。T()は、美観の質のための主な性能指数、すなわちAVT、CRIおよびCIELAB色空間座標(a^{*}、b^{*})を定量化するために使用される。良好なUV選択性により、NCのみのTLSCは、81.9%のAVTおよび91.3のCRIを示す。デュアルバンドTLSCについて、NC + CO_i 8DFIC TLSCのAVTおよびCRIは65.6%および82.9%に下落する。BODIPYのより良好なNIR選択性により、NC + BODIPY TLSCのAVTおよびCRIは、75.8%および88.3に改善する。 20

【0231】

(考察)

NCのみ、NC + CO_i 8DFICおよびNC + BODIPY TLSCの、美観の質と光起電性能とに及ぼすNC濃度の影響を系統的に研究した。CIELAB色空間座標(a^{*}、b^{*})は、ガラスおよびガラス工事産業における製品の色着色の許容範囲を評価するために一般的に利用されている。TPVの「基準光源」として、入射AM 1.5Gは原点(0, 0)(無色または無色に近い)にあり、(a^{*}、b^{*})座標をNC濃度の関数として図18Bにプロットする。これらのTLSCは、NCのみの群、NC + CO_i 8DFIC群およびNC + BODIPY群の3群に分類され、各群においてNC濃度(1、2、5、10および20mg/mL)のみが変数である。さらに、CO_i 8DFICのみおよびBODIPYのみのTLSCを参照として含める。図18Bに示すように、CO_i 8DFICまたはBODIPYの組込みは、赤色範囲へのNIR吸収の延長によるa^{*}の負の値をもたらす。NCのみ、NC + CO_i 8DFIC、およびNC + BODIPY TLSCのb^{*}は、NC濃度が1から5mg/mLに増加することにつれて増加する一方、10mg/mLを超える濃度にさらに増加すると、TLSCの美観の質が劇的に急落し、窓産業に受け入れられない|b^{*}|値となる(>10)。 30 40

【0232】

可視光吸収半導体材料は、TPV用途における活性層としても利用することができる。十分に薄い厚さを有する活性層または微細セグメント構造は可視光の一部分の透過を可能にし、それは部分的に可視光透明性を作り出す。しかしながら、光起電性能と可視光透過率との間には直接的なトレードオフが存在する。図18Bに示すように、435~675nmの範囲内の任意の吸収プロファイルは、AVT、CRIの急激な低下、およびCIELAB原点からの(a^{*}、b^{*})の増大した偏差をもたらし得る。したがって、このタイプのデバイスは、「半透明」PVまたは非波長選択的TPVと呼ばれることがある。不透 50

明 P V に対する理論的ショックレー - クワイサー (S Q) 限界は 33.1% であるが、A V T が 90% に増加することにつれて非波長選択的 T P V の P C E は 0% に近づく。非波長選択的 T P V の S Q P C E 限界を図 19 A に示す。U V (< 435 nm) および N I R 光子 (> 675 nm) のみの取込みからの波長選択的 T P V または T L S C の S Q P C E 限界は 20% (20.6%) を超え、A V T は 100% (99.4%) に近づく。S Q 限界線の右側の領域は、波長選択的アプローチでのみ達成可能な標的 P C E と A V T との組合せを反映する。T L S C の 3 群すべて (C O _i 8 D F I C のみおよび B O D I P Y のみの参照を含む) の A V T (60 ~ 100% 幅) の関数としての P C E を図 19 A にプロットする。C O _i 8 D F I C のみおよび B O D I P Y のみの参照 T L S C は、追加の板ガラスを用いて封入する必要がないことに留意されたい。構造の単純さは、それらの反射損失を低減し、したがって、スペクトル全体にわたって全体的な透過率を改善する。これらすべてのデバイスの中で、B O D O I P Y のみの T L S C は、良好な N I R 選択性のために、S Q P C E 限界線に最も近い。N C 濃度が 1 から 10 mg / mL に増加することにつれて、N C のみの群の P C E 対 A V T 傾向線は、可視光へのテール吸収のために 10 mg / mL を超えて逸脱し始めるまで、S Q P C E 限界線とほぼ平行な傾向を維持する。N C + C O _i 8 D F I C 群および N C + B O D I P Y 群も、N C 濃度が増加することにつれて同様の傾向を示し、N I R 構成要素の組込みは、わずかに減少した A V T を伴い、3% (最大 3.4%) を超えて、デュアルバンド選択的取込み T L S C システムの P C E を有意に改善する。光利用効率 (L U E、P C E と A V T の積として定義される) は、同じスケールで A V T 値が異なるレベルである T P V を系統的に比較するための測定基準を提供する。図 19 B に、対応する A V T の関数としてのすべての T L S C の L U E を、S Q L U E 限界線と共にプロットする。エアギャップまたは赤色範囲への N I R 吸収の延長はわずかに低減された A V T レベルをもたらすが、L U E はデュアルバンド選択的取込みに起因する著しい改善を依然として獲得する。すなわち、デュアルバンド T L S C システムは発電のために不可視光子をより効果的に利用することができ、同時に、良好な美観の質を示すことができる。

10

20

30

40

50

【 0 2 3 3 】

T P V および T L S C 限界に近づくための性能をさらに増加させるためのアプローチを考察する。< 435 nm の光子束は A M 1.5 G のわずか約 8% である。> 435 nm の光の取込みは、黄色または茶色の色合い (正の b^* 値) を急速に引き起こす可能性があり、これは、多くの窓用途には受け入れられない。対照的に、675 nm とエッジマウント P V 電池 (例えば、S i、G a A s など) の吸収カットオフとの間の N I R 範囲は A M 1.5 G 光子束のピークと一致し、これは、発電のための著しくより大きな可能性を有する。赤色範囲に延長される吸収であっても、結果として生じる青色の色合い (負の a^* 値) はより視覚的に許容可能であり、これは、N I R 選択的取込み発光団のためのより多くの設計自由度を提供し、過度の黄色の色合いから不十分な b^* 値を補填することさえも助けることができる。量子ドットおよびナノクラスターを含む種々の U V 吸収発光団の Q Y は近年、80% を超えるまで徐々に改善されており、さらなる改善は、困難になるだけでなく、むしろ制限されることになる。比較すると、N I R 発光団の Q Y は、現在 20 ~ 35% の範囲である。しかしながら、Q Y を 60 ~ 80% まで改善するための化学的設計による大きな見込みが依然としてある。図 17 B に示すように、N C + B O D I P Y T L S C について、N C ピークは B O D I P Y ピークよりもはるかに強いが (Q Y が高く、N C の再吸収損失が少ないため)、N I R 構成要素からの寄与は、U V 構成要素からの寄与と同等である (2.4 mA / cm² 対 1.5 mA / cm²)。したがって、T L S C 開発のための将来の努力は、主に以下に焦点を当てるべきである：1) N I R 選択的取込み発光団の Q Y の改善 (美観を変えることなく N I R 寄与の 2 ~ 3 倍の増強を可能にする)；2) より高い可視光透過率およびより良好な演色性のための U V / V I S および V I S / N I R 境界付近の明確な波長選択性；3) 再吸収損失を抑制するための N I R 発光団の吸収スペクトルおよび発光スペクトルの分離。U V および N I R 構成要素の両方で約 80% の Q Y と理想的な波長選択性を持つデュアルバンド T L S C を考慮すると、J s c 寄与の

大部分 (> 75%) はその NIR 構成要素に由来するべきであり、AVT > 80% とCRI > 90 との両方で、全体の PCE は約 7% であると予想される。この PCE および AVT の組合せは、図 19 A および 19 B に示される SQ PCE および LUE の線の上に十分に位置し、これは最も実用的な用途での展開に適している。

【0234】

光子バランスは、各波長における EQELSC ()、T ()、反射率 R () を含む独立した測定の妥当性を確認するために必要な一貫性検査である。本研究におけるすべての TLSC デバイスの光子バランスは、図 20 A ~ 02 C に一貫して示す。長寿命性能は、実社会での展開のもう一つの重要な機能である。NC のみ、NC + CO_i 8DFIC および NC + BODIPY TLSC のすべての光安定性を研究した。NC のみ、NC + CO_i 8DFIC および NC + BODIPY についての吸収スペクトル (A)、EQELSC および内部量子効率 (IQELSC) の正規化された吸収ピーク値を、一定の照明下での時間関数として、図 21 A ~ 21 C にプロットする。すべてのパラメータは 300 時間の一定の照明後にほぼ一定のままであり、したがって、これらの TLSC デバイスは、優れた光安定性を示す。

10

【0235】

要約すると、UV および NIR 選択的取込み発光団として、高度発光性の燐光六核金属ハロゲン化物ナノクラスターおよび有機発光団を組み合わせることによって、デュアルバンド選択的取込み TLSC デバイスを設計し、実証した。太陽スペクトルの UV および NIR 部分の両方から不可視光子を取り込むことは PCE > 3% をもたらし、UV/VIS および VIS/NIR 境界における正確な波長選択性は AVT > 75% および 90 付近の CRI をもたらす。このアプローチは、NIR 量子収率がさらに改善されるにつれて、100% に近い効率を有するデバイスをもたらす。高い光起電性能、優れた美観の質および長期の光安定性により、本実施例は複数の用途における発電源として配備される TLSC 技術のひとつきわ優れた可能性を明らかにし、太陽エネルギーを効果的および遍在的に利用するための道筋を提供する。

20

【0236】

上記の実施形態の説明は、例示および説明を目的として与えられている。これらの説明は、網羅的であることも、本開示を限定することも意図していない。特定の実施形態の個々の要素または特徴は、一般的に、当該特定の実施形態に限定されず、適用可能であるならば相互に交換可能である。また、これらの要素または特徴は、たとえ具体的に明示または説明されていなくとも、選択した実施形態において使用できる。これらの要素または特徴は、多様に変形してもよい。このような変形例を本開示からの逸脱と見なすべきではなく、このような改変はすべて本開示の範囲の範囲内に含まれることが意図される。

30

【図面の簡単な説明】

【0237】

【図 1 A】本技術の種々の態様による TLSC の概略図である。

【図 1 B】本技術の種々の態様による、図 1 A の TLSC と相互作用する光の概略図である。

【図 2 A】本技術の種々の態様による、導波路内に発光団が埋め込まれている TLSC の概略図である。

40

【図 2 B】本技術の種々の態様による、導波路の表面上に発光団が直接配置されている TLSC の概略図である。

【図 2 C】本技術の種々の態様による、導波路の表面上に発光団を含むフィルムが直接配置されている TLSC の概略図である。

【図 3 A】本技術の種々の態様による、光起電池が導波路の端部上に配置されている TLSC の概略図である。

【図 3 B】光起電池が導波路の表面上に配置されている TLSC の概略図である。

【図 3 C】光起電池が導波路の第 1 の表面上に配置され、波長固有ミラーが導波路の端部上に配置されている TLSC の概略図である。

50

- 【図 3 D】導波路および発光団を含む T L S C の概略図である。
- 【図 3 E】導波路および発光団を含む T L S C の概略図である。
- 【図 3 F】導波路および発光団を含む T L S C の概略図である。
- 【図 4】本技術の種々の態様による波長依存性ミラーを含む例示的な T L S C の概略図である。
- 【図 5 A】本技術の種々の態様による透明デュアルバンドデバイスの概略図である。
- 【図 5 B】線 5 B / 5 C に沿った図 5 A の透明デュアルバンドデバイスの図である。
- 【図 5 C】線 5 B / 5 C に沿った図 5 A の透明デュアルバンドデバイスの図である。
- 【図 6 A】近赤外 (N I R) 取込み波長選択的透明発光型太陽光集光器 (T L S C) の動作原理の概略図である。 10
- 【図 6 B】近赤外 (N I R) 取込み波長選択的透明発光型太陽光集光器 (T L S C) の動作原理の概略図である。
- 【図 6 C】近赤外 (N I R) 取込み波長選択的透明発光型太陽光集光器 (T L S C) の動作原理の概略図である。
- 【図 7 A】 C_{60} I 8 D F I C の合成反応を示す。
- 【図 7 B】I T I C の分子構造を示す。
- 【図 8 A】2つの異なるポリマーマトリックスに埋め込まれた C_{60} I 8 D F I C の正規化された吸収スペクトル (青色) および発光スペクトル (赤色) を示すグラフである。
- 【図 8 B】溶液、ポリマーマトリックスフィルム、純フィルム、および粒子凝集体における、 C_{60} I 8 D F I C の正規化された吸収の比較を示す。 20
- 【図 9 A】異なる濃度の C_{60} I 8 D F I C T L S C の電流密度対電圧 (J - V) 特性を示すグラフである。
- 【図 9 B】異なる濃度の C_{60} I 8 D F I C T L S C の平均 E_{QELSC} () スペクトルを示す。
- 【図 9 C】異なる濃度の C_{60} I 8 D F I C T L S C の正規化された位置依存性 E_{QELSC} ピーク値を示す。
- 【図 10 A】Cy 7 - NHS を使用した T L S C の絶対吸収および E_{QELSC} スペクトルを示す。
- 【図 10 B】 C_{60} I 8 D F I C 150 mg L^{-1} を使用した T L S C の絶対吸収および E_{QELSC} スペクトルを示す。 30
- 【図 10 C】エッジマウント P V としての G a A s を使用した実用的限界に達する T L S C を示す図である。
- 【図 11 A】発光団が Cy 7 - NHS である、異なるエッジマウント P V および G 因子を有する T L S C の E_{QELSC} および積分された J S C の平均の比較を示す図である。
- 【図 11 B】発光団が C_{60} I 8 D F I C である、異なるエッジマウント P V および G 因子を有する T L S C の E_{QELSC} および積分された J S C の平均の比較を示す図である。
- 【図 12 A】Cy 7 - NHS について、T L S C デバイスの測定した透過率、反射率、吸光度、 E_{QELSC} () スペクトル、および光子バランスチェックを示す図である。
- 【図 12 B】異なる濃度の C_{60} I 8 D F I C (図 12 B ~ 図 12 F) について、T L S C デバイスの測定した透過率、反射率、吸光度、 E_{QELSC} () スペクトル、および光子バランスチェックを示す図である。 40
- 【図 12 C】異なる濃度の C_{60} I 8 D F I C (図 12 B ~ 図 12 F) について、T L S C デバイスの測定した透過率、反射率、吸光度、 E_{QELSC} () スペクトル、および光子バランスチェックを示す図である。
- 【図 12 D】異なる濃度の C_{60} I 8 D F I C (図 12 B ~ 図 12 F) について、T L S C デバイスの測定した透過率、反射率、吸光度、 E_{QELSC} () スペクトル、および光子バランスチェックを示す図である。
- 【図 12 E】異なる濃度の C_{60} I 8 D F I C (図 12 B ~ 図 12 F) について、T L S C デバイスの測定した透過率、反射率、吸光度、 E_{QELSC} () スペクトル、および光子バランスチェックを示す図である。 50

【図12F】異なる濃度の CO_i8DFIC (図12B~図12F) について、 TLSC デバイスの測定した透過率、反射率、吸光度、 EQELSC () スペクトル、および光子バランスチェックを示す図である。

【図13A】「 150mgL^{-1} 」 TLSC デバイスの各波長における測定した透過率、反射率、吸光度、 EQELSC () スペクトル、および光子バランスチェックを示すグラフである。

【図13B】 CIELAB 色空間における CO_i8DFIC TLSC の色座標 (a^* 、 b^*) を示す図である。

【図13C】 GaAs PVでエッジマウントされた「 150mgL^{-1} 」および「 300mgL^{-1} 」 TLSC の電流密度対電圧 ($J-V$) 特性であって、挿入図は GaAs PVでエッジマウントされた同じ2つの TLSC の平均 EQELSC () スペクトルを示す。

10

【図13D】すべての TLSC デバイスの写真である。

【図14A】 IEICO-4F の分子構造を示す。

【図14B】ポリマーマトリックス (Eukitt) に埋め込まれた CO_i8DFIC (実線) および IEICO-4F (破線) の正規化された吸収 (青色) スペクトルおよび発光 (赤色) スペクトルを示すグラフである。

【図14C】 CO_i8DFIC および IEICO-4F を発光団として有する TLSC の EQELSC と積分された J_{SC} の平均を示すグラフである。

【図14D】 IEICO-4F を有する TLSC の光子バランスを示すグラフである。

20

【図15】 BODIPY の合成反応を示す。

【図16】デュアルバンド選択的取込み透明発光型太陽光集光器 (TLSC) の構造および動作原理を示す概略図である。

【図17A】 $\text{NC} + \text{CO}_i8\text{DFIC}$ 、および $\text{NC} + \text{BODIPY}$ TLSC の電流密度 ($J-V$) 特性を示すグラフである。

【図17B】 NC のみ、 $\text{NC} + \text{CO}_i8\text{DFIC}$ 、および $\text{NC} + \text{BODIPY}$ TLSC の平均 EQELSC () スペクトルを示す。

【図17C】 $\text{NC} + \text{CO}_i8\text{DFIC}$ TLSC の絶対位置依存性 EQELSC スペクトルを示す。

【図17D】 $\text{NC} + \text{BODIPY}$ TLSC の絶対位置依存性 EQELSC スペクトルを示す。

30

【図17E】 $\text{NC} + \text{CO}_i8\text{DFIC}$ TLSC の正規化された位置依存性 EQELSC ピーク値を示す。

【図17F】 $\text{NC} + \text{BODIPY}$ TLSC の正規化された位置依存性 EQELSC ピーク値を示す。

【図18A】比較のためのヒト眼 ($V(\lambda)$) の正規化された明所視反応とともに示す、 NC のみ、 $\text{NC} + \text{CO}_i8\text{DFIC}$ 、および $\text{NC} + \text{BODIPY}$ TLSC の透過スペクトルを示す。

【図18B】 NC のみの群、 $\text{NC} + \text{CO}_i8\text{DFIC}$ の群、および $\text{NC} + \text{BODIPY}$ の群の TLSC の CIELAB 色空間における (a^* 、 b^*) 座標である。

40

【図19A】 NC のみの群、 $\text{NC} + \text{CO}_i8\text{DFIC}$ の群、 $\text{NC} + \text{BODIPY}$ の群、 CO_i8DFIC のみ、および BODIPY のみの TLSC についての電力変換効率 (PCE) 対平均可視光透過率 (AVT) を示すグラフである。

【図19B】 NC のみの群、 $\text{NC} + \text{CO}_i8\text{DFIC}$ の群、 $\text{NC} + \text{BODIPY}$ の群、 CO_i8DFIC のみ、および BODIPY のみの TLSC についての光利用効率 ($\text{LUE} = \text{PCE} \times \text{AVT}$) 対 AVT を示すグラフである。

【図20A】ナノクラスターのみを含むデバイスの、 T 、 R 、 A および EQE を含む光子バランスを示すグラフである。

【図20B】ナノクラスターおよび CO_i8DFIC を含むデュアルバンドデバイスの、 T 、 R 、 A および EQE を含む光子バランスを示すグラフである。

50

【図20C】 ナノクラスターおよびBODIPYを含むデュアルバンドデバイスの、T、R、AおよびEQEを含む光子バランスを示すグラフである。

【図21A】 NCのみのデュアルバンドTLSCの光安定性調査を示している。

【図21B】 NC + CO_i8DFIC デュアルバンドTLSCの光安定性調査を示している。

【図21C】 NC + BODIPY デュアルバンドTLSCの光安定性調査を示している。

【図面】

【図1A】

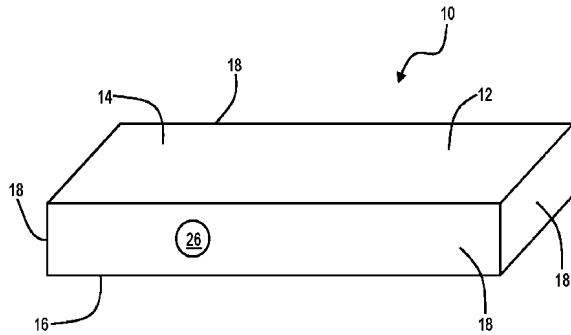


Fig. 1A

【図1B】

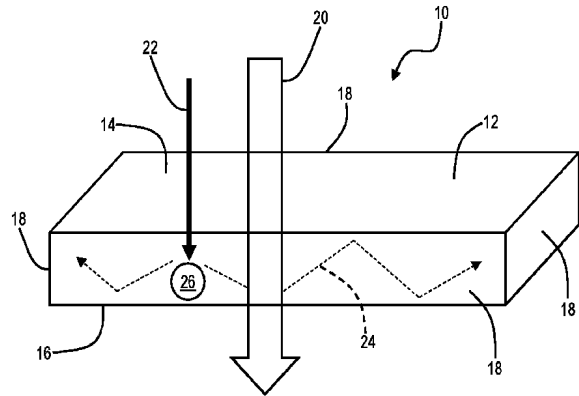


Fig. 1B

【図2A】

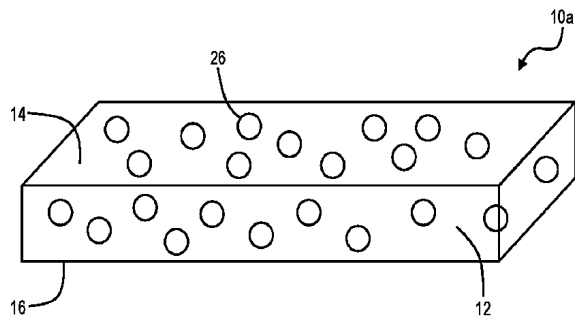


Fig. 2A

【図2B】

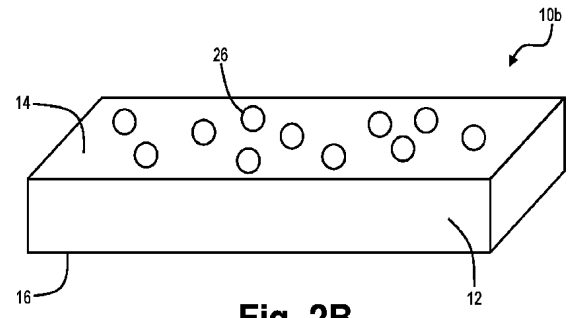


Fig. 2B

10

20

30

40

50

【 図 2 C 】

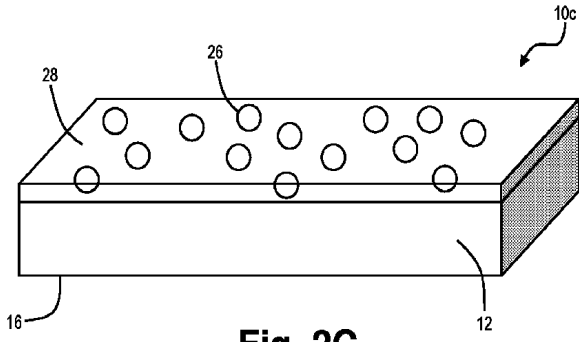


Fig. 2C

【 図 3 A 】

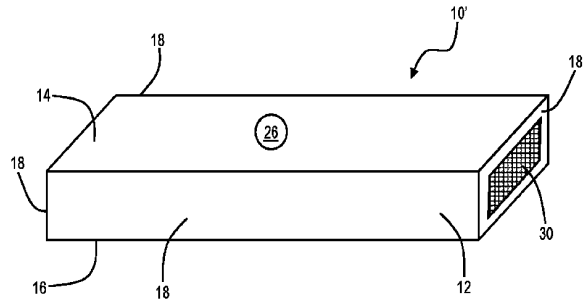


Fig. 3A

10

【 図 3 B 】

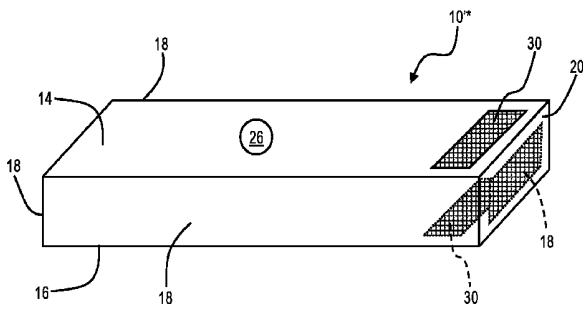


Fig. 3B

【 図 3 C 】

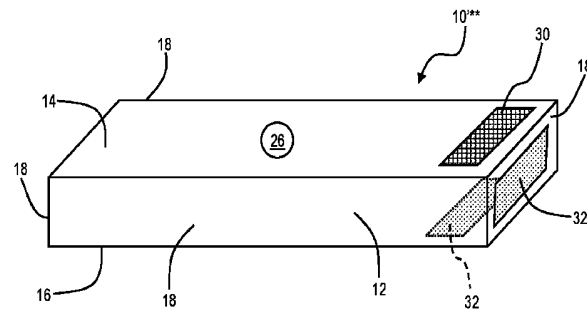


Fig. 3C

20

30

40

50

【 図 3 D 】

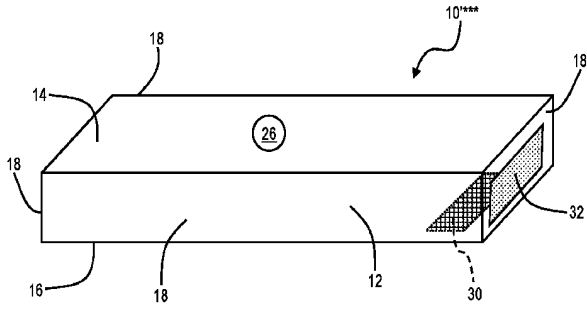


Fig. 3D

【 図 3 E 】

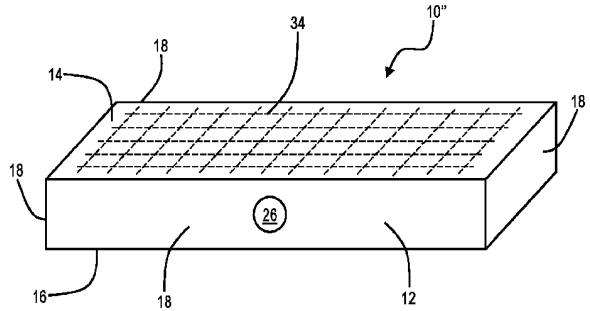


Fig. 3E

10

【 図 3 F 】

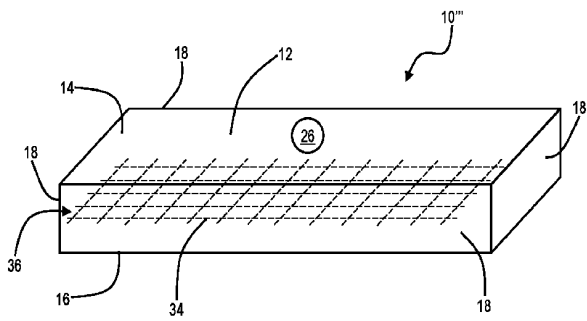


Fig. 3F

【 図 4 】

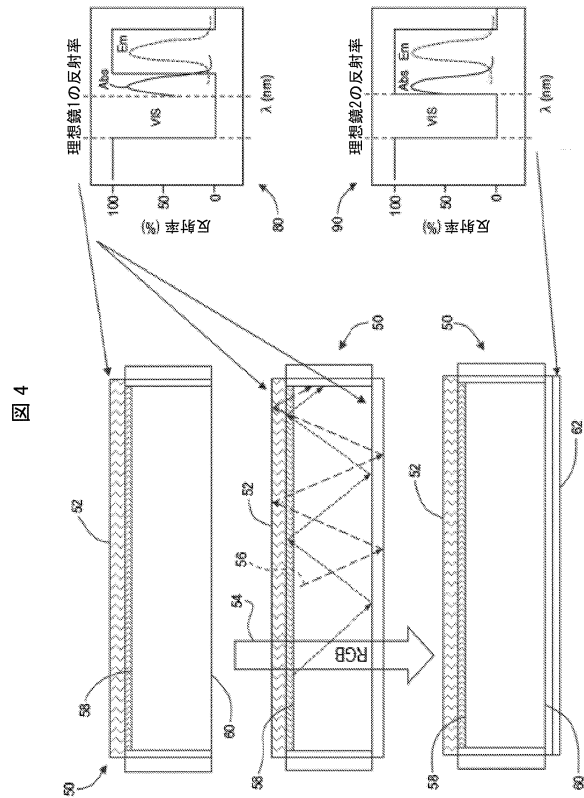


図 4

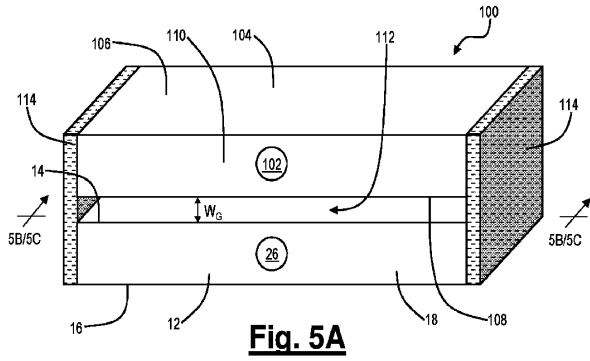
20

30

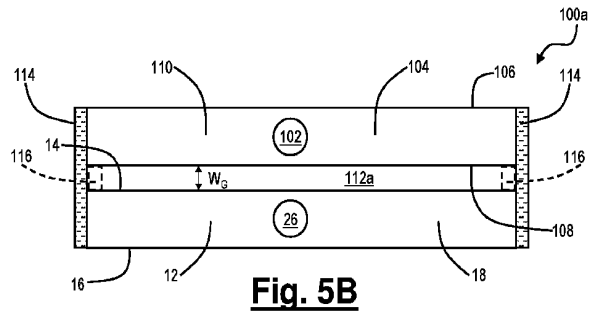
40

50

【 図 5 A 】

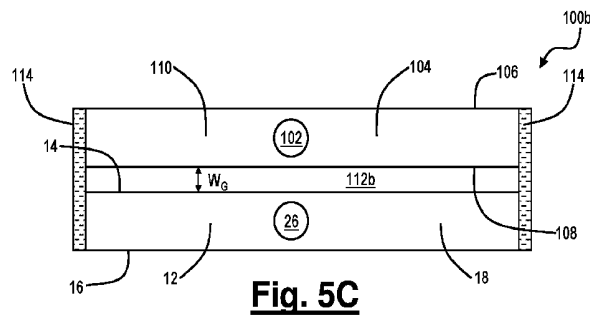


【 図 5 B 】

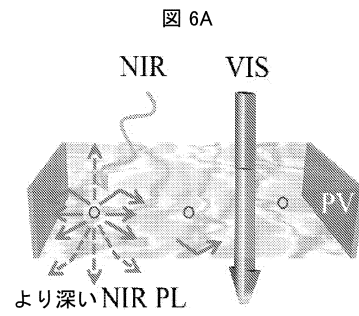


10

【 図 5 C 】

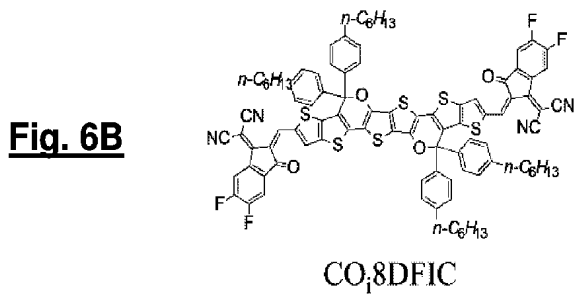


【 図 6 A 】

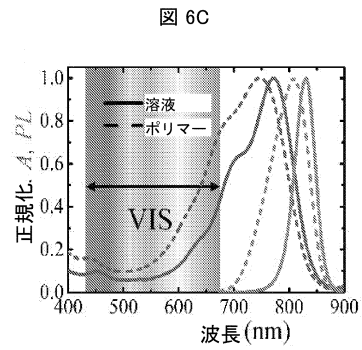


20

【 図 6 B 】



【 図 6 C 】

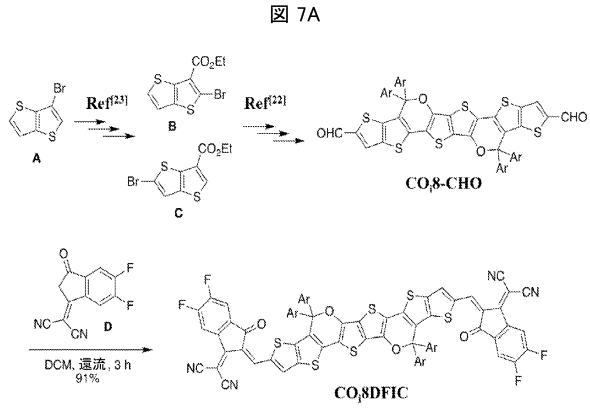


30

40

50

【 図 7 A 】



【 図 7 B 】

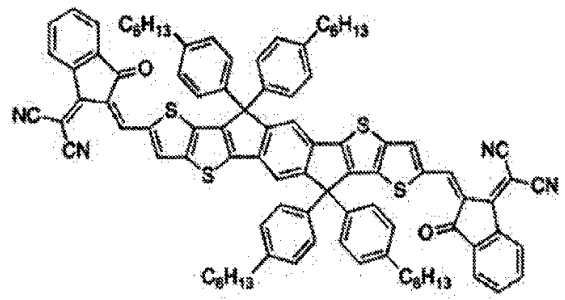
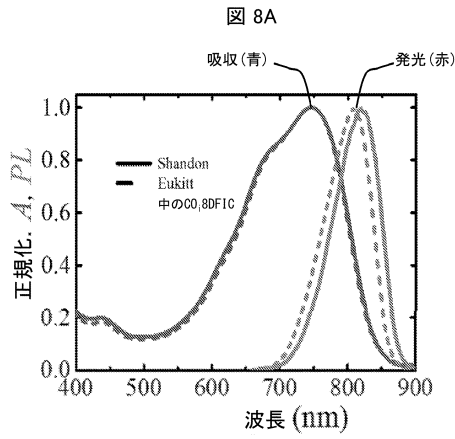


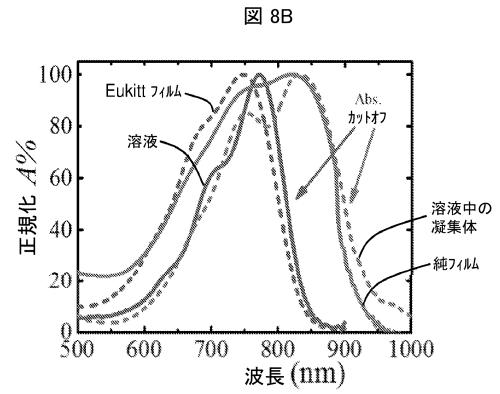
Fig. 7B

10

【 図 8 A 】



【 図 8 B 】



20

30

40

50

【 図 9 A 】

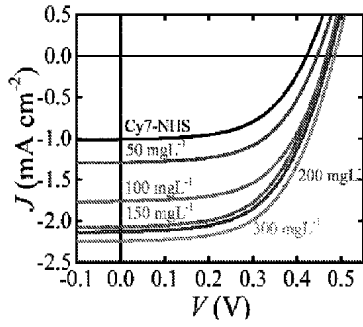
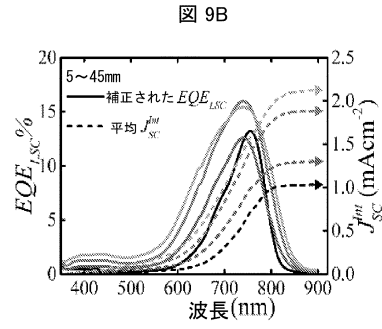


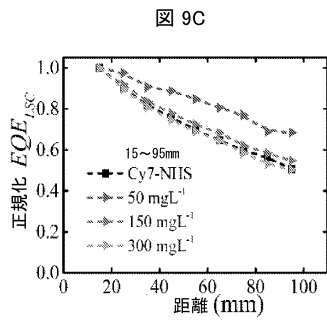
Fig. 9A

【 図 9 B 】

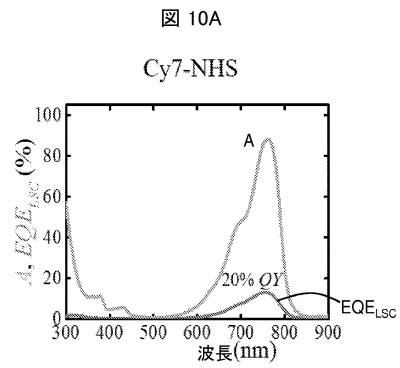


10

【 図 9 C 】

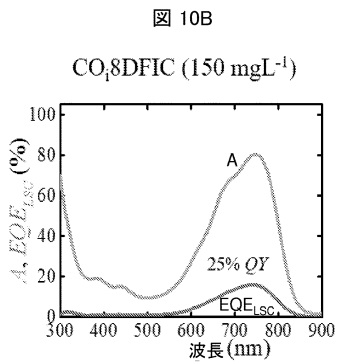


【 図 1 0 A 】

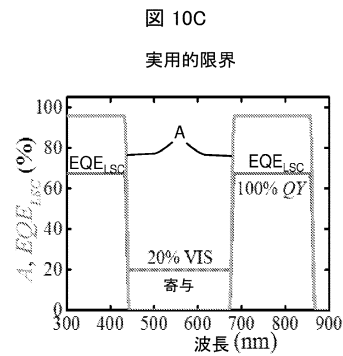


20

【 図 1 0 B 】



【 図 1 0 C 】



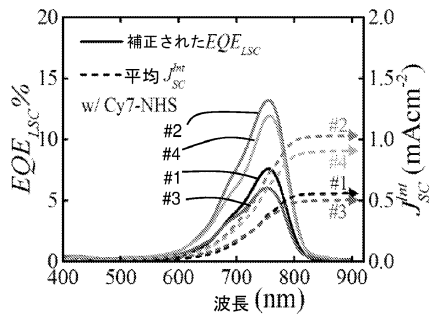
30

40

50

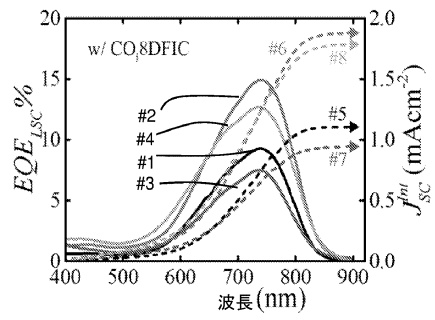
【 図 1 1 A 】

図 11A



【 図 1 1 B 】

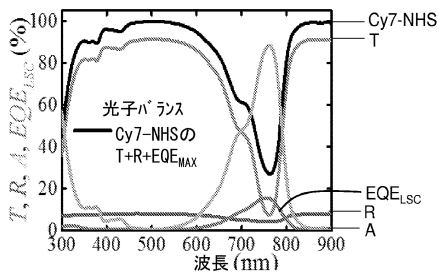
図 11B



10

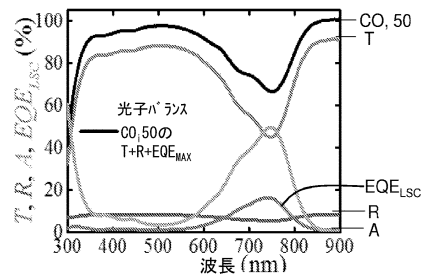
【 図 1 2 A 】

図 12A



【 図 1 2 B 】

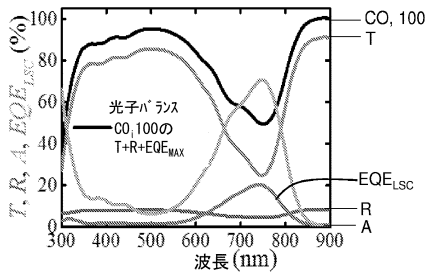
図 12B



20

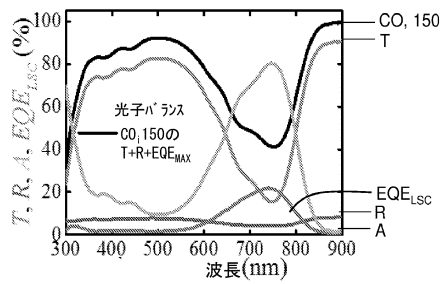
【 図 1 2 C 】

図 12C



【 図 1 2 D 】

図 12D

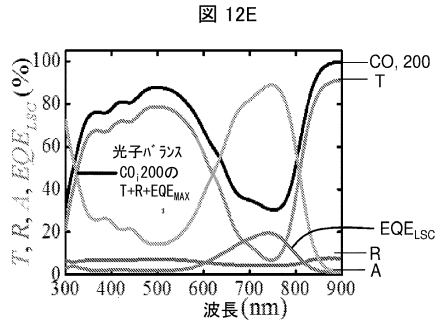


30

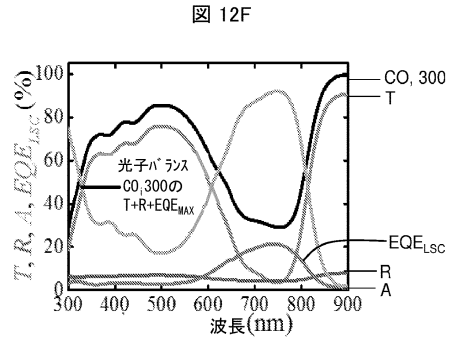
40

50

【 図 1 2 E 】

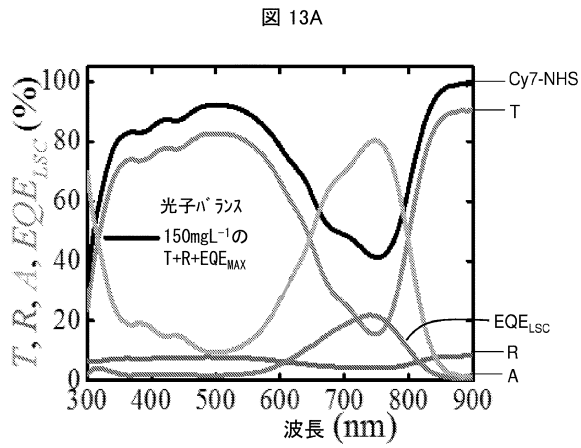


【 図 1 2 F 】



10

【 図 1 3 A 】



【 図 1 3 B 】

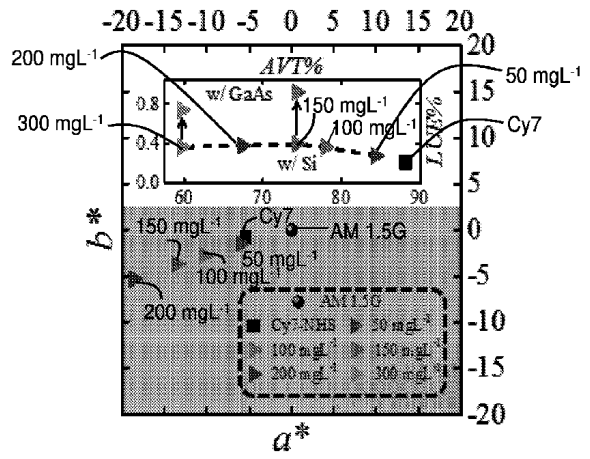


Fig. 13B

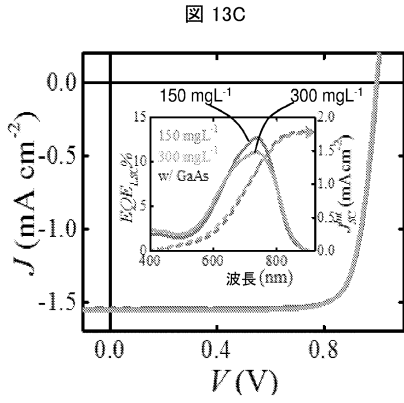
20

30

40

50

【 図 1 3 C 】



【 図 1 3 D 】

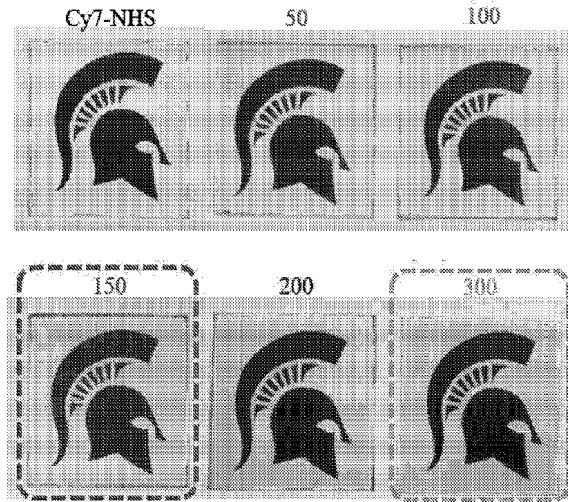
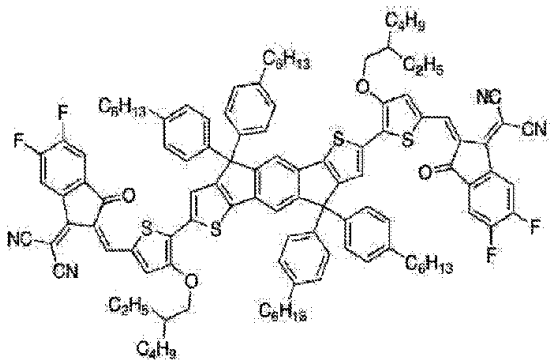


Fig. 13D

10

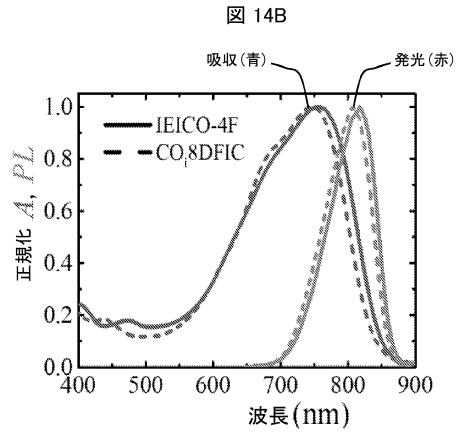
20

【 図 1 4 A 】



IEICO-4F
Fig. 14A

【 図 1 4 B 】



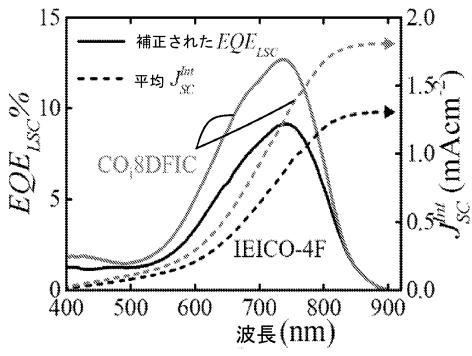
30

40

50

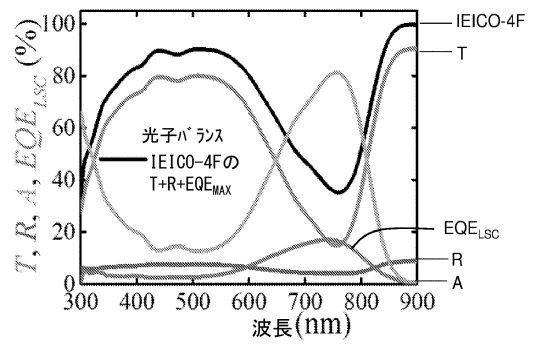
【 図 1 4 C 】

図 14C



【 図 1 4 D 】

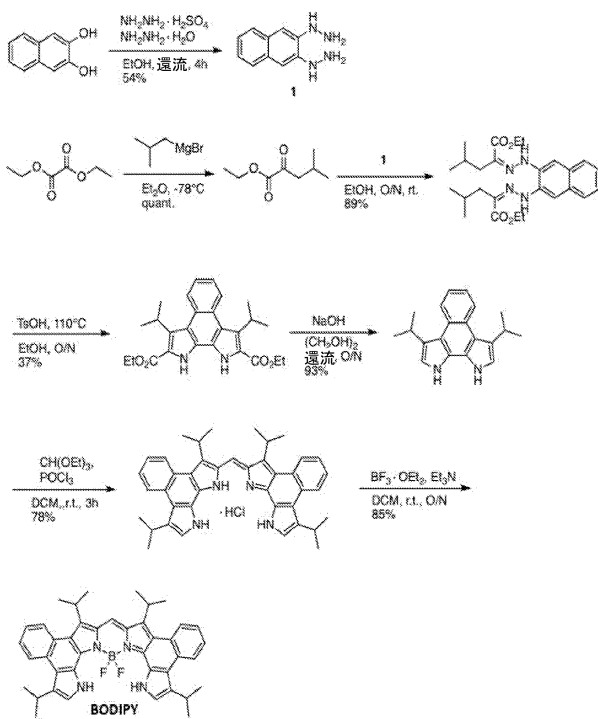
図 14D



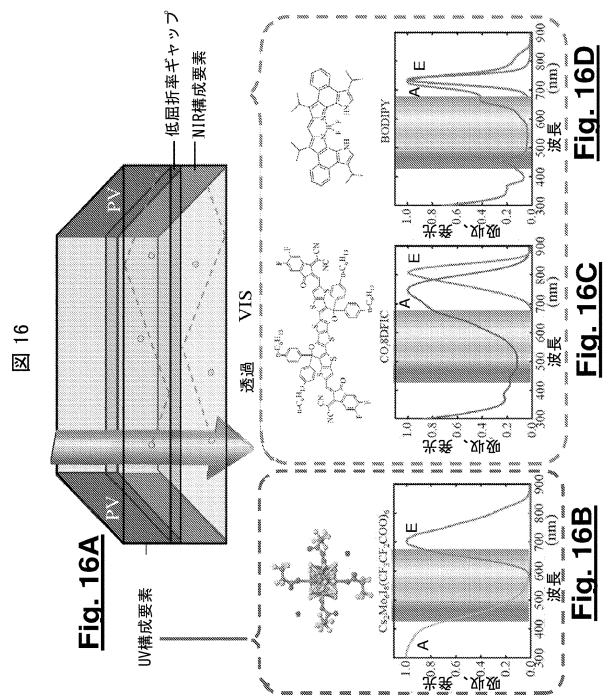
10

【 図 1 5 】

図 15



【 図 1 6 】



20

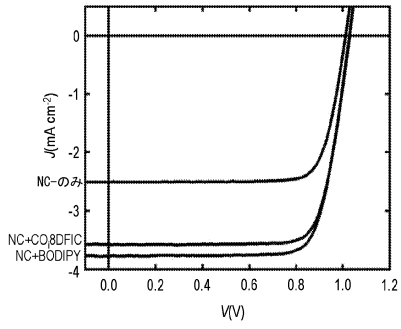
30

40

50

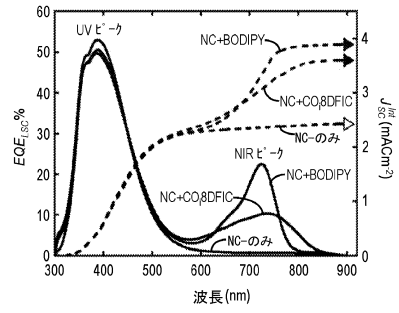
【 図 17 A 】

図 17A



【 図 17 B 】

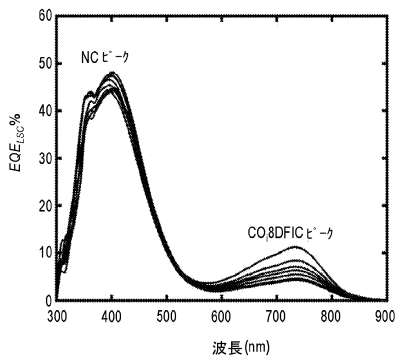
図 17B



10

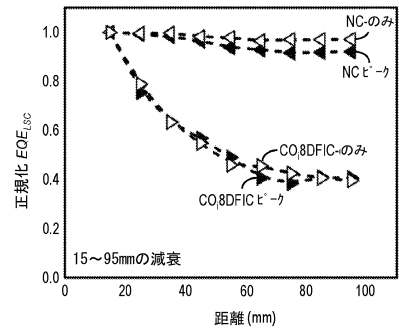
【 図 17 C 】

図 17C



【 図 17 D 】

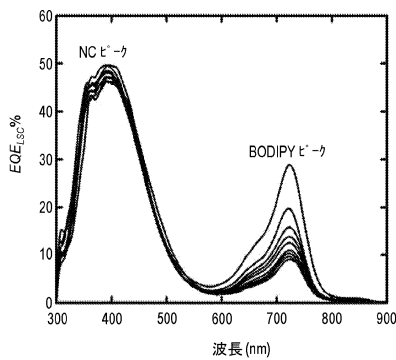
図 17D



20

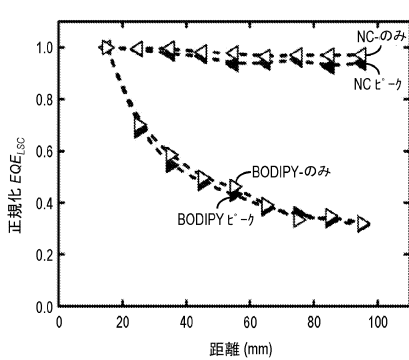
【 図 17 E 】

図 17E



【 図 17 F 】

図 17F

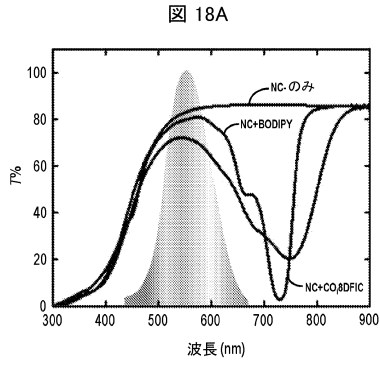


30

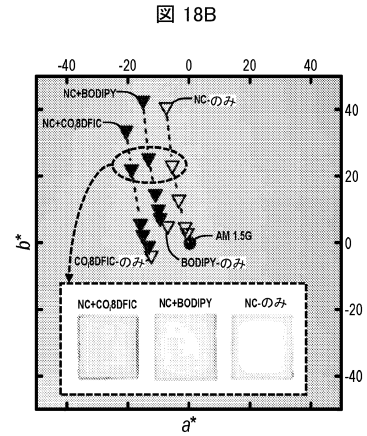
40

50

【 図 18 A 】

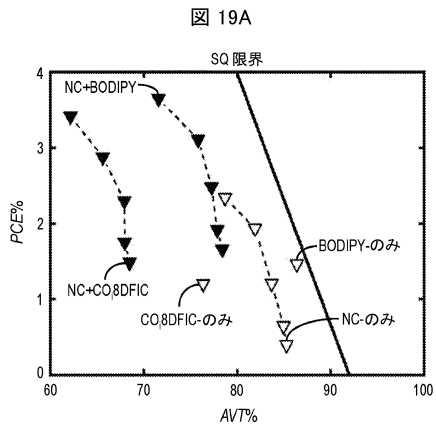


【 図 18 B 】

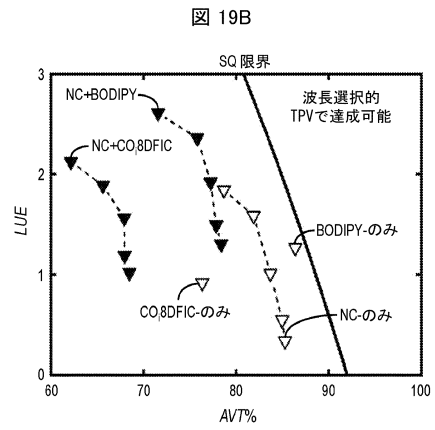


10

【 図 19 A 】

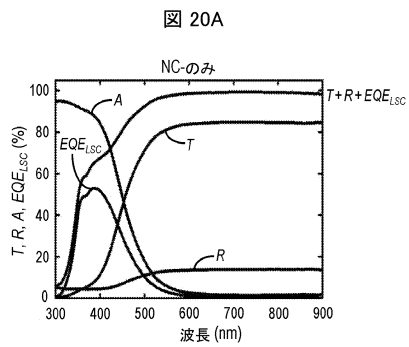


【 図 19 B 】

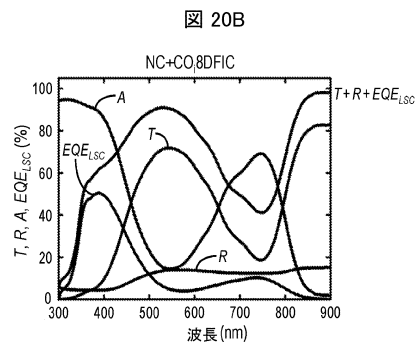


20

【 図 20 A 】



【 図 20 B 】

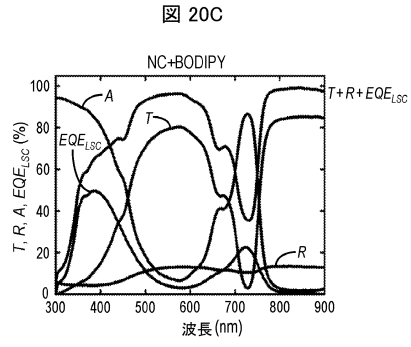


30

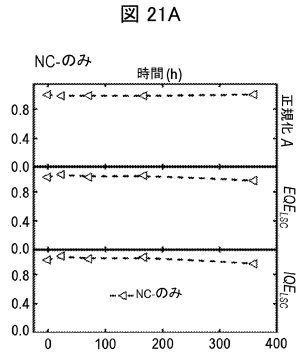
40

50

【 図 2 0 C 】

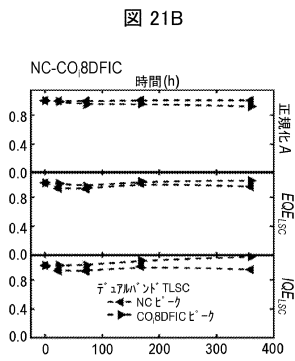


【 図 2 1 A 】

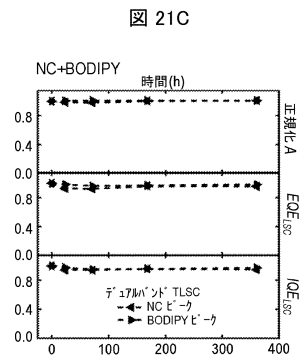


10

【 図 2 1 B 】



【 図 2 1 C 】



20

30

40

50

【 国際調査報告 】

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/US2021/013946

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER IPC(8) - H01L 31/055; G02B 6/00; F24S 23/00; H01L 31/054 (2021.01) CPC - H01L 31/055; G02B 6/0076; F24S 23/12; G02B 6/0003; H01L 31/0547 (2021.02)		
According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC		
B. FIELDS SEARCHED		
Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols) see Search History document		
Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched see Search History document		
Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used) see Search History document		
C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X — Y	WO 2019/217583 A1 (BOARD OF TRUSTEES OF MICHIGAN STATE UNIVERSITY) 14 November 2019 (14.11.2019) entire document	1, 2, 4-7 — 1, 3, 7-16
Y	US 2015/0287864 A1 (LEIDOS, INC.) 08 October 2015 (08.10.2015) entire document	1, 7, 11-16
Y	US 2018/0019355 A1 (UNIVERSITA' DEGLI STUDI DI MILANO - BICOCCA) 18 January 2018 (18.01.2018) entire document	3
Y	US 2009/0205701 A1 (GOVAERTS et al) 20 August 2009 (20.08.2009) entire document	3
Y	US 2019/0226720 A1 (GLOWSHOP, LLC) 25 July 2019 (25.07.2019) entire document	8
Y	US 7,745,724 B2 (BALASUBRAMANIAN et al) 29 June 2010 (29.06.2010) entire document	9, 10
Y	US 2014/0130864 A1 (LUNT et al) 15 May 2014 (15.05.2014) entire document	15
A —	Cnops et al. Energy Level Tuning of Non-Fullerene Acceptors in Organic Solar Cells. Journal of the American Chemical Society Vol. 137 24 June 2015. < https://pubs.acs.org/doi/10.1021/jacs.5b02808 > entire document	9, 10
A	US 2019/0326460 A1 (CALIFORNIA INSTITUTE OF TECHNOLOGY et al) 24 October 2019 (24.10.2019) entire document	1-16
<input type="checkbox"/> Further documents are listed in the continuation of Box C. <input type="checkbox"/> See patent family annex.		
* Special categories of cited documents: "A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance "D" document cited by the applicant in the international application "E" earlier application or patent but published on or after the international filing date "L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified) "O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means "P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed		"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention "X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone "Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art "&" document member of the same patent family
Date of the actual completion of the international search 30 April 2021		Date of mailing of the international search report MAY 24 2021
Name and mailing address of the ISA/US Mail Stop PCT, Attn: ISA/US, Commissioner for Patents P.O. Box 1450, Alexandria, VA 22313-1450 Facsimile No. 571-273-8300		Authorized officer Blaine R. Copenheaver Telephone No. PCT Helpdesk: 571-272-4300

Form PCT/ISA/210 (second sheet) (July 2019)

10

20

30

40

50

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/US2021/013946

Box No. II Observations where certain claims were found unsearchable (Continuation of item 2 of first sheet)

This international search report has not been established in respect of certain claims under Article 17(2)(a) for the following reasons:

- 1. Claims Nos.:
because they relate to subject matter not required to be searched by this Authority, namely:
- 2. Claims Nos.:
because they relate to parts of the international application that do not comply with the prescribed requirements to such an extent that no meaningful international search can be carried out, specifically:
- 3. Claims Nos.:
because they are dependent claims and are not drafted in accordance with the second and third sentences of Rule 6.4(a).

10

Box No. III Observations where unity of invention is lacking (Continuation of item 3 of first sheet)

20

This International Searching Authority found multiple inventions in this international application, as follows:
See extra sheet(s).

- 1. As all required additional search fees were timely paid by the applicant, this international search report covers all searchable claims.
- 2. As all searchable claims could be searched without effort justifying additional fees, this Authority did not invite payment of additional fees.
- 3. As only some of the required additional search fees were timely paid by the applicant, this international search report covers only those claims for which fees were paid, specifically claims Nos.:
- 4. No required additional search fees were timely paid by the applicant. Consequently, this international search report is restricted to the invention first mentioned in the claims; it is covered by claims Nos.:
1-16

30

- Remark on Protest**
- The additional search fees were accompanied by the applicant's protest and, where applicable, the payment of a protest fee.
 - The additional search fees were accompanied by the applicant's protest but the applicable protest fee was not paid within the time limit specified in the invitation.
 - No protest accompanied the payment of additional search fees.

40

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/US2021/013946

Continued from Box No. III Observations where unity of invention is lacking

This application contains the following inventions or groups of inventions which are not so linked as to form a single general inventive concept under PCT Rule 13.1. In order for all inventions to be examined, the appropriate additional examination fees must be paid.

Group I, claims 1-16, is drawn to a transparent luminescent solar concentrator (TLSC) comprising a light utilization efficiency (LUE) of greater than or equal to about 1.

10

Group II, claims 17-32, is drawn to a transparent luminescent solar concentrator (TLSC) comprising a power conversion efficiency (PCE) of greater than or equal to about 1% and an $I_b \cdot l$ value of less than or equal to about 25.

Group III, claims 33-76, is drawn to a transparent luminescent solar concentrator (TLSC) comprising: a luminophore having both a strongest absorbance maximum and a strongest peak emission greater than or equal to about 650 nm.

The inventions listed as Groups I, II and III do not relate to a single general inventive concept under PCT Rule 13.1 because, under PCT Rule 13.2, they lack the same or corresponding special technical features for the following reasons: the special technical feature of the Group I invention: a light utilization efficiency (LUE) of greater than or equal to about 1 as claimed therein is not present in the invention of Groups II and III. The special technical feature of the Group II invention: a power conversion efficiency (PCE) of greater than or equal to about 1% and an $I_b \cdot l$ value of less than or equal to about 25 as claimed therein is not present in the invention of Groups I or III. The special technical feature of the Group III invention: a strongest absorbance maximum and a strongest peak emission greater than or equal to about 650 nm as claimed therein is not present in the invention of Groups I or II.

Groups I, II and III lack unity of invention because even though the inventions of these groups require the technical feature of a transparent luminescent solar concentrator (TLSC) comprising: a luminophore; and a waveguide that guides light emitted from the luminophore, this technical feature is not a special technical feature as it does not make a contribution over the prior art.

Specifically, US 2019/0326460 to California Institute of Technology teaches a transparent luminescent solar concentrator (TLSC) comprising: a luminophore; and a waveguide that guides light emitted from the luminophore (Paras. [0035-0036], [0046]).

20

Since none of the special technical features of the Group I, II or III inventions are found in more than one of the inventions, unity of invention is lacking.

30

40

50

フロントページの続き

MK,MT,NL,NO,PL,PT,RO,RS,SE,SI,SK,SM,TR),OA(BF,BJ,CF,CG,CI,CM,GA,GN,GQ,GW,KM,ML,MR,NE,SN,TD,TG),AE,AG,AL,AM,AO,AT,AU,AZ,BA,BB,BG,BH,BN,BR,BW,BY,BZ,CA,CH,CL,CN,CO,CR,CU,CZ,DE,DJ,DK,DM,DO,DZ,EC,EE,EG,ES,FI,GB,GD,GE,GH,GM,GT,HN,HR,HU,ID,IL,IN,IR,IS,IT,JO,JP,KE,KG,KH,KN,KP,KR,KW,KZ,LA,LC,LK,LR,LS,LU,LY,MA,MD,ME,MG,MK,MN,MW,MY,MZ,NA,NG,NI,NO,NZ,OM,PA,PE,PG,PH,PL,PT,QA,RO,RS,RU,RW,SA,SC,SD,SE,SG,SK,SL,ST,SV,SY,TH,TJ,TM,TN,TR,TT,TZ,UA,UG,US,UZ,VC,VN,WS,ZA,ZM,ZW

州,ホルト,メドーラーン ドライブ 2 1 7 6

(72)発明者 ボルハン,ババク

アメリカ合衆国, 4 8 8 6 4 ミシガン州,オケモス,ミラポー ドライブ 1 8 3 5

(72)発明者 モエメニ,メディ

アメリカ合衆国, 4 8 8 6 4 ミシガン州,オケモス,ノブ ヒル ドライブ 2 2 8 3

(72)発明者 ベイツ,マシュー

アメリカ合衆国, 4 8 8 2 3 ミシガン州,イースト ランシング,アーバー グレン ドライブ 1 8 0,アパートメント 2 0 3

Fターム(参考) 5F151 JA25