

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 27 年 9 月 24 日現在

機関番号：15401

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2012～2014

課題番号：24550225

研究課題名(和文) 新型D- π -A蛍光性色素を用いたType II型色素増感太陽電池の開発研究課題名(英文) Development of Type-II Dye-Sensitized Solar Cells Based on a New-type D- π -A Fluorescent Dyes

研究代表者

大山 陽介(OOYAMA, Yousuke)

広島大学・工学(系)研究科(研究院)・准教授

研究者番号：60403581

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 4,300,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、広範囲の太陽光を利用することができる高効率な色素増感太陽電池(DSSC)の開発を目的として、TiO₂電極のルイス酸サイトに配位結合の形成により吸着できるピリジル基を「電子求引性・注入性吸着基」として導入したピリジル系D- π -A色素や、ジフェニルアミノ基をドナー基、フルオレンあるいはカルバゾールを骨格、Cat基をTiO₂電極への吸着基として導入したD- π -Cat色素を開発することに成功した。合成した色素を用いてDSSCを作製し、電子注入メカニズムと光電変換特性を解明することができた。

研究成果の概要(英文)：In order to develop high performance dye-sensitized solar cells (DSSC), we have designed and developed a new-type of D- π -A dye sensitizers with pyridyl group as an electron-withdrawing-injecting anchoring group, which can adsorb onto TiO₂ electrode through the formation of coordinate bonding between the pyridyl group of the dye and the Lewis acid site (exposed Ti⁴⁺ cations) on the TiO₂ surface. Moreover, D- π -Cat dyes with a diphenylamine moiety as electron-donating group, a catechol (Cat) unit as anchoring group and fluorene or carbazole as π -conjugated system have been designed and developed. We fabricated the DSSCs based on these dyes. This work revealed the electron injection mechanism from the dyes to the conduction band of the TiO₂ electrode and the photovoltaic performances of DSSCs based on these dyes.

研究分野：化学

キーワード：蛍光性色素 光電変換 色素増感太陽電池 光増感 酸化チタン電極

1. 研究開始当初の背景

色素を吸着させた酸化チタン(TiO₂)ナノ粒子電極を用いる色素増感太陽電池(DSSC)は、安価でクリーンな次世代太陽光発電システムとして注目されている。近年、DSSC 用色素として、D- π -A 型有機色素の新規開発・改良が活発である。これまでに開発された DSSC 用 D- π -A 色素の構造的特徴として、電子供与性基(ドナー:D)としてのアミノ基と電子求引性基(アクセプター:A)かつ TiO₂ 表面への吸着基(An)としてのカルボキシル基(COOH)がお互いに π 共役で結ばれている(図 1a)。図 1b に示すように、色素は TiO₂ 電極表面のブレンステッド酸サイト(Ti-OH)にエステル結合によって固定されている。すなわち、色素が太陽光を吸収すると色素の電子は HOMO から LUMO へと光励起され(電子は D から π 共役を経て A に移動)、その後 TiO₂ 電極の伝導帯(CB)に注入される、いわゆる「Type I 型 DSSC」である(図 2a)。これらの D- π -A 色素の中には、Ru 錯体色素(光電変換効率(η)11%)に匹敵する性能を有しているものもあるが、ここ数年間において D- π -A 色素の光電変換特性が停滞しているのが現状である。この理由として、**1)** これまでに開発された「従来型 DSSC 用 D- π -A 色素」のカルボキシル基は、電子求引性基および吸着基としては優れているが、電子注入性基としては不十分である、**2)** 色素の LUMO レベルは TiO₂ 電極の CB レベル(E_{cb})よりも 0.4V 以上負でなければならない、といった制約から、太陽光の利用(捕集)範囲は \sim 700nm までに留まっている、ためであると考えられる。この現状を打破するためには「電子注入」機能を付与した「電子求引性・注入性吸着基」を探索・開発し、色素から TiO₂ 電極の CB にダイレクトに電子注入する Type II 型 DSSC への転換を図ることが必要である(図 2b)。Type II 型 DSSC の優位性として、**1)** 色素の LUMO レベルの制約が緩和される、**2)** 色素-TiO₂ 間での強い電子的相互作用により、色素の HOMO から TiO₂ 電極の CB へのダイレクトな電子注入(Dye-to-TiO₂ Charge Transfer)に由来する DTCT 吸収帯が出現するため、広範囲の太陽光(\sim 1000nm)を利用することができる、ことから光電変換特性の飛躍的な向上が期待できる。しかしながら、Type II 型 DSSC に関しては、カテコール(1,2-benzenediol)を用いた電子注入のメカニズムに関する基礎研究に留まっており、Type II 型 DSSC 用色素の開発には注意が払われていなかった。これまでに、本研究代表者は、従来型 D- π -A 色素のカルボキシル基の低い電子注入能力を指摘し、電子求引性吸着基に「電子注入」機能を付与することが必要であると考え、TiO₂ のルイス酸サイト(Ti^{IV})との配位結合(N-Ti)による強い電子的相互作用の形成が可能なピリジン環を「電子求引性・注入性吸着基」として導入した新型 D- π -A 蛍光性色素を考案し(図 3)、従来型 D- π -A 色素をはるかに凌ぐ光電変換特性を示

すことを実証した。さらに、色素-TiO₂ 間での配位結合は光吸収極大の長波長シフトを引き起こすことがわかった。このように、DSSC 用色素開発に制約を与えていた「電子求引性吸着基=カルボキシル基」という固定概念を払拭し、DSSC 用色素の分子設計に新たな道を切り拓くことができた。このような研究背景から、色素から TiO₂ 電極の CB にダイレクトな電子注入が可能な DTCT 吸収帯を有する「新型 D- π -A 蛍光性色素」の分子設計指針を確立し、広範囲の太陽光を利用する高効率な Type II 型 DSSC を開発する本研究の着想に至った。

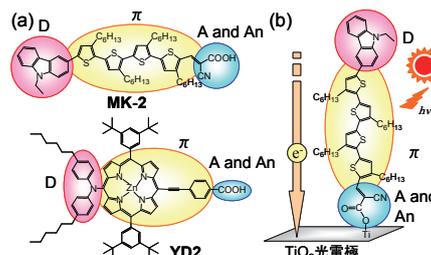


図 1. (a)カルボキシル基を電子求引性吸着基として有する従来型 D- π -A 色素の(b)TiO₂ 電極への吸着と電子注入モデル

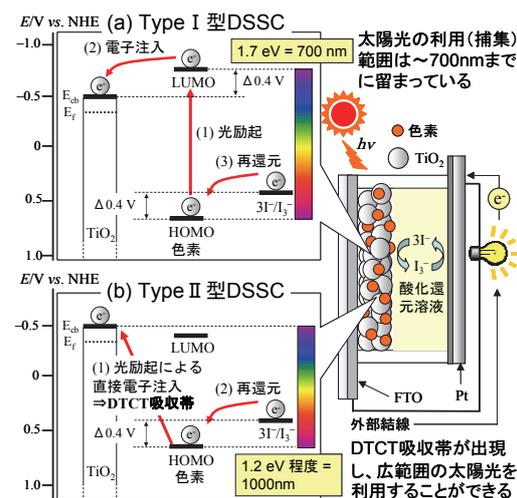


図 2. (a)Type I 型 DSSC および(b)Type II 型 DSSC の構成と原理

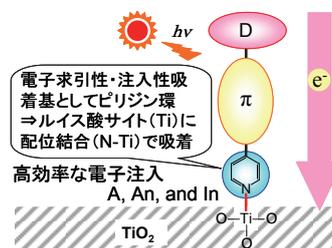


図 3. ピリジン環を電子求引性・注入性吸着基として有する新型 D- π -A 色素の TiO₂ 電極への吸着と電子注入モデル

2. 研究の目的

本研究では、色素から TiO₂ 電極の CB にダイレクトな電子注入が可能な「新型 D- π -A 蛍光性色素」の分子設計指針を確立し、広範囲の太陽光を利用することができる高効率な Type II 型 DSSC の開発を目的とする。本研究

を遂行するために、1) 色素-TiO₂電極間での強い電子的相互作用の形成が可能な新型D-π-A 蛍光性色素を創製する、2) 新型D-π-A 蛍光性色素に適したTiO₂電極を作製する、3) TiO₂電極上での色素配列・配向性および色素-TiO₂間相互作用が、Type II型DSSCの光電変換特性に及ぼす影響を基礎的に追究する、4) 新型D-π-A 蛍光性色素と改良したTiO₂電極との最適な組み合わせによる高効率なType II型DSSCの開発を達成する。

3. 研究の方法

(1) 「電子求引性・注入性吸着基」としてピリジン環、カテコール基あるいはボロン酸を有する新型D-π-A 蛍光性色素を分子設計・合成し、本D-π-A色素を用いたDSSCの光電変換特性を評価する。

(2) TiO₂電極に吸着させた蛍光性色素のDTCT吸収帯とIPCE(Incident Photon to Current conversion Efficiency)スペクトルおよびI-V(Photocurrent-voltage curve)特性との相関性について、新型D-π-A 蛍光性色素のTiO₂への結合様式(配位結合、キレート結合)、色素の配列・配向性や色素-TiO₂間相互作用の観点から追究し、Type II型DSSCの検証を行なう。

(3) TiO₂電極の表面を改質することでブレンステッド酸(B)およびルイス酸(L)サイト数を調整し、新型D-π-A 蛍光性色素に適したTiO₂電極を作製する。TiO₂電極の(B)と(L)サイト数の変化が、DTCT吸収帯やType II型DSSCの光電変換特性に及ぼす影響を解明する。新型D-π-A 蛍光性色素と表面改質を施したTiO₂電極との最適な組み合わせによる高効率なType II型DSSCの開発を達成する。

4. 研究成果

(1) ピリジル系光増感色素の分子設計指針を探索することを目的として、ピリジル基を2つ有するビピリジル系D-π-A 蛍光性色素YNI-1とYNI-2を分子設計・合成した(図4)。両色素を用いたDSSCを作製し、光電変換特性を評価した。TiO₂薄膜に吸着させたYNI-1とYNI-2の光吸収スペクトル測定から、両色素共に吸収極大波長は溶液中と比べて25nmほど長波長シフトした。TiO₂薄膜上に吸着させた両色素のFT-IRスペクトル測定から、YNI-1は色素のピリジル基の窒素(N)とTiO₂のブレンステッド酸サイト間で水素結合を形成して吸着しているが、YNI-2は色素のピリジル基の窒素(N)とTiO₂のルイス酸サイトで配位結合を形成して吸着していることがわかった。色素YNI-1とYNI-2を用いたDSSCsを作製し、AM1.5, 100 mW/cm²の疑似太陽光照射下でI-V測定およびIPCEスペクトル測定から光電変換特性の評価を行った結果、YNI-1と比べて、チオフェン環を導入したYNI-2の短絡光電流(J_{sc})、開放光起電圧(V_{oc})

および光電変換効率(η)は高い値を示した(YNI-1: $J_{sc} = 1.84 \text{ mA cm}^{-2}$, $V_{oc} = 492 \text{ mV}$, $\eta = 0.57 \%$; YNI-2: $J_{sc} = 4.72 \text{ mA cm}^{-2}$, $V_{oc} = 556 \text{ mV}$, $\eta = 1.61 \%$)。さらに、YNI-2の最大IPCE(67%@427 nm)は、YNI-1(47%@415 nm)よりも高い値を示した。これらの結果から、YNI-1の水素結合に比べて、YNI-2の配位結合は、色素からTiO₂電極への電子注入効率を高める効果があることが示唆された。本研究から、色素のピリジル基がTiO₂のルイス酸サイトに配位結合を形成できる分子構造の構築が、高効率なピリジル系D-π-A色素の分子設計において重要であることがわかった。

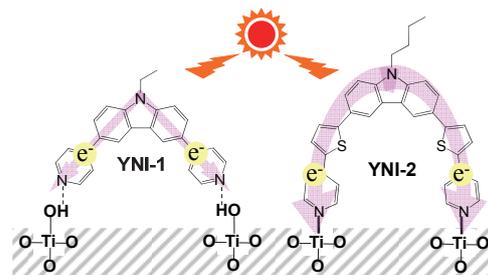


図4. ビピリジル系D-π-A 蛍光性色素YNI-1とYNI-2のTiO₂電極への吸着と電子注入モデル

(2) ピリジル系D-π-A色素からピリジニウム系D-π-A色素への合成法の確立を目的として、ピリジニウム環を有する色素OD5とOD6を分子設計・合成し(図5)、両色素の光物性および電気化学的特性を調べた。さらに、これらの色素を用いてDSSCを作製し、光電変換特性を評価した。アセトニリル中での可視吸収スペクトル測定から、OD5では437 nm ($\epsilon = 27100 \text{ M}^{-1}\text{cm}^{-1}$)に、OD6では440 nm ($\epsilon = 22700 \text{ M}^{-1}\text{cm}^{-1}$)に、ジフェニルアミノ基からピリジニウム環への分子内電荷移動(Intramolecular Charge Transfer: ICT)特性に由来する吸収帯が出現した。OD5とOD6を吸着させたTiO₂薄膜のFT-IR測定から、OD5は-SO₃⁻基とTiO₂表面のルイス酸サイト間で二股架橋結合を形成して吸着しており、OD6はTiO₂表面のブレンステッド酸サイトにエステル結合によって吸着していることがわかった。

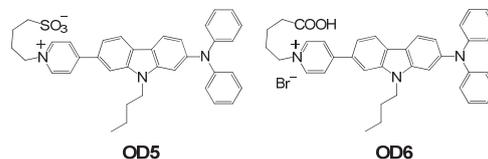


図5. ピリジニウム系D-π-A色素OD5とOD6

OD5とOD6を用いたDSSCsを作製し、I-VとIPCE測定を行った。OD6と比べて、OD5の J_{sc} 、 V_{oc} および η 値は高い値を示した(OD5: $J_{sc} = 5.52 \text{ mA cm}^{-2}$, $V_{oc} = 552 \text{ mV}$, $\eta = 1.93 \%$; OD6: $J_{sc} = 4.54 \text{ mA cm}^{-2}$, $V_{oc} = 468 \text{ mV}$, $\eta = 1.41 \%$)。さらに、OD5の最大IPCE(73%@470 nm)は、OD6(61%@463 nm)よりも高い値を示した。本研究から、ピリジニウム系D-π-A色素は、ピリジル系D-π-A色素に匹敵する光電変換特性を示すことが明らかとなった。

(3) 広範囲の太陽光を捕集可能なピリジル系光増感色素の開発を目指して、ピリジル基を2つ有するD- π -A型BODIPY色素YH-1を分子設計・合成し、YH-1を用いたDSSCの光電変換特性について調べた(図6)。色素YH-1の構造的特徴は、BODIPYコアの3位と5位に2つのチエニルピリジンを電子求引性吸着基とし、8位に電子供与性基としてカルバゾール-ジフェニルアミンを有していることである。TiO₂薄膜に吸着させたYH-1の光吸収スペクトル測定から、YH-1は、太陽光の広い波長領域(~800nm)において光捕集が可能であり、パシクロマチック特性を有していることがわかった。YH-1を用いたDSSCを作製し、光電変換特性を調べた結果、800nmにIPCEのオンセットを示し、500~700nmの広い波長領域において約10%のIPCE値を示した。本研究から、赤色から近赤外領域の光増感作用を有するBODIPY色素の分子設計指針を提案することができた。

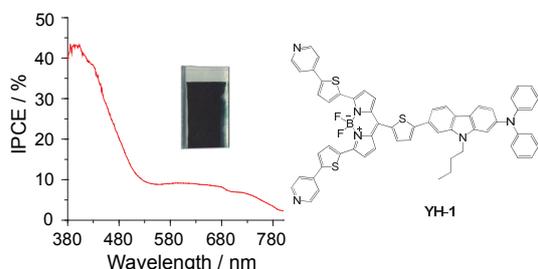


図6. D- π -A型BODIPY色素YH-1のIPCEスペクトルと色素吸着TiO₂薄膜

(4) ピリジル系D- π -A型色素のTiO₂電極への吸着様式と光電変換特性に関するさらなる知見を得ることを目的とし、電子求引性吸着基として縮環系ピリジンであるベンゾチエノピリジンを有する新規D- π -A型色素SAT-1を分子設計・合成した(図7)。TiO₂電極に吸着させたSAT-1のFT-IR測定より、SAT-1はピリジン環とTiO₂電極のブレンステッド酸サイト間で水素結合を形成し、吸着していることがわかった。SAT-1を用いたDSSCを作製し、*I-V*測定とIPCE測定を行った。*I-V*測定から、*J*_{sc}と η 値はそれぞれ3.12 mA cm⁻²と1.11%を示した。IPCE測定より、最大IPCE値は428 nmで40%を示し、比較的高い光電変換特性を有することがわかった。

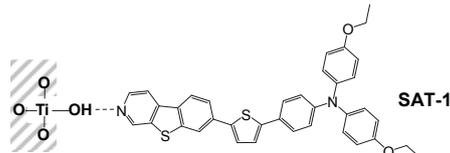


図7. ピリジル系D- π -A色素SAT-1のTiO₂電極への吸着様式

(5) Type-II型DSSC用カテコール(Cat)系色素の分子設計指針を探ることを目的として、ジフェニルアミノ基をドナー基、フルオレンあるいはカルバゾールを π 骨格、Cat基をTiO₂電

極への吸着基として導入したD- π -Cat色素YM-1、YM-2およびYM-3を分子設計・合成し、電子注入メカニズムと光電変換特性を追究した(図8)。本研究から、D- π -Cat色素YM-1とYM-2のIPCEスペクトルは、TiO₂薄膜に吸着したD- π -Cat色素のDTCT吸収帯と良い一致を示していることから、D- π -Cat色素のHOMOからTiO₂電極のCBへのダイレクトな電子注入(Type-II)により光電流が発生していることがわかった。一方、YM-3において、*tert*-チオフェンの導入によるD- π -Cat色素の π 共役系の拡張は、TiO₂電極に注入された電子と色素間での電荷再結合を促進して光電変換特性を低下させるだけでなく、DTCTによる電子注入特性を減少させてICTによるLUMOを経由した電子注入特性(Type-I)を増大させることが明らかとなった。

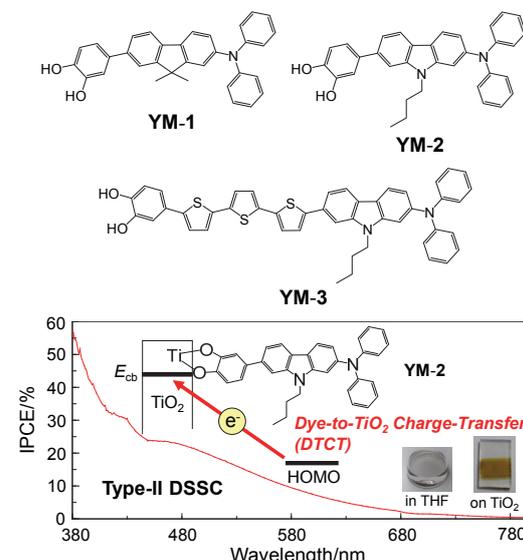


図8. D- π -Cat色素YM-1、YM-2およびYM-3とYM-2のDTCT特性とIPCEスペクトル

(6) ピリジル基よりも電子求引性が強く、TiO₂電極と電子的相互作用の形成が可能なピラジル基を電子求引性吸着基として導入したピラジル系D- π -A色素OUK-1と(D- π)₂A色素OUK-2を合成した(図9)。

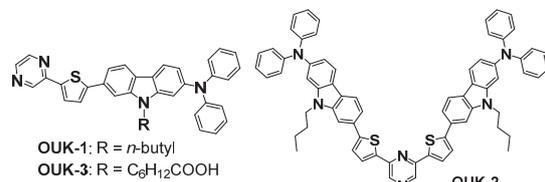


図9. ピラジル系D- π -A色素OUK-1、OUK-2およびOUK-3

ピリジル系D- π -A色素NI-6(図10)と比べて、色素OUK-1の光吸収極大波長は10 nmほど長波長シフトしており、この結果は、ピラジル基の比較的強い電子求引性に起因している。色素吸着させたTiO₂薄膜のFT-IR測定から、色素OUK-1とOUK-2はTiO₂電極上に、水素結合とピラジニウムイオンを形成して吸着していることがわかった。色素OUK-1

の DSSC を作製し、光電変換特性を評価したところ、色素 **NI-6** と比べてやや低い光電変換効率を示した。しかしながら、本研究から、ピリジル基 - TiO₂ 電極間の配位結合と同様に、ピラジル基が TiO₂ 電極に水素結合やピラジニウムイオンを形成して吸着することでも、比較的効率良く TiO₂ 電極へ電子注されることが明らかとなった。

(7) ピラジル系 D- π -A 色素の TiO₂ 電極への色素吸着量の向上を図るために、電子求引性・注入性吸着基としてのピラジル基に加えて、カルボキシル基を吸着基として導入した機能分離型ピラジル系 D- π -A 色素 **OUK-3** を合成し(図 9)、吸着様式および光電変換特性についてピラジル系 D- π -A 色素 **OUK-1** との比較を行った。**OUK-1** と同様に、**OUK-3** は TiO₂ 電極上に水素結合とピラジニウムイオンを形成して吸着していた。さらに、**OUK-3** は、カルボキシル基と TiO₂ 電極表面間でエステル結合を形成して吸着していることがわかった。**OUK-1** に比べて、**OUK-3** の色素吸着量は 3 倍程度増大し、DSSC 特性は 2 倍程度向上した。本研究から、機能分離型 D- π -A 色素の分子設計は、TiO₂ 電極への色素吸着量の改善を達成し、光電変換特性の向上を図る上で有用であることが実証された。

(8) TiO₂ 電極への吸着様式を制御できるピリジル系 D- π -A 色素の分子設計指針を探ることを目的として、電子求引性吸着基として 3-ピリジル基を有する D- π -A 色素 **OUY-1** を合成した(図 10)。TiO₂ 表面のルイス酸サイトに配位結合を形成して吸着する 4-ピリジル基を有する **NI-6** と異なり、**OUY-1** は、TiO₂ 表面のブレンステッド酸サイトにピリジニウムイオンと水素結合を形成して吸着していることがわかった。TiO₂ 電極への色素吸着量が約 3.0×10^{16} 個/cm² の場合、**NI-6** および **OUY-1** を用いた DSSC の光電変換効率は、それぞれ 0.79% および 0.95% であり、**NI-6** と **OUY-1** は同程度の光電変換特性を示すことがわかった。このことから、TiO₂ 電極にピリジニウムイオンや水素結合を形成することでも、比較良好に電子注入が達成されることがわかった。一方、TiO₂ 電極を浸漬させる色素溶液の濃度は、**NI-6** は 0.06 mM であるのに対し、**OUY-1** では 0.6 mM と 10 倍程度高い濃度が必要であった。本研究から、ピリジル系 D- π -A 色素の TiO₂ 電極への吸着能力は、ピリジル基の塩基性や電子密度に影響されており、その結果として、ピリジル系 D- π -A 色素の TiO₂ 電極への吸着様式に変化を引き起こしていることが明らかとなった。

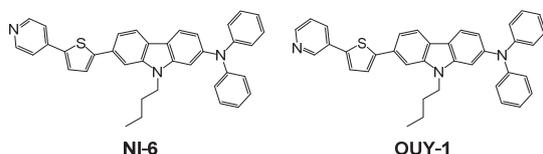


図 10. ピリジル系 D- π -A 色素 **NI-6** と **OUY-1**

5. 主な発表論文等

[雑誌論文] (計 15 件)

- ① Y. Ooyama, K. Uenaka, and J. Ohshita; Development of D- π -A Fluorescent Dyes with 3-Pyridyl Group as Electron-Withdrawing Anchoring Group for Dye-Sensitized Solar Cells; *Eur. J. Org. Chem.*, 査読有 **2015**, DOI: 10.1002/ejoc.201500341, in press.
- ② Y. Ooyama, K. Uenaka, and J. Ohshita; Development of functionally separated D- π -A fluorescent dye with pyrazyl group as electron-accepting group for dye-sensitized solar cell; *Org. Chem. Front.*, 査読有 **2015**, 2, 552-559.
- ③ Y. Ooyama, K. Uenaka, Y. Harima, and J. Ohshita; Development of D- π -A dyes with pyrazine ring as electron-withdrawing anchoring group for dye-sensitized solar cells; *RSC Adv.*, 査読有 **2014**, 4, 30225-30228.
- ④ Y. Ooyama, T. Yamada, T. Fujita, Y. Harima, and J. Ohshita; Development of D- π -Cat fluorescent dyes with catechol group for dye-sensitized solar cells based on dye-to-TiO₂ charge transfer; *J. Mater. Chem. A*, 査読有 **2014**, 2, 8500-8511.
- ⑤ Y. Ooyama, T. Sato, Y. Harima, and J. Ohshita; Development of D- π -A fluorescent dye with benzothienopyridine as electron-withdrawing anchoring group for dye-sensitized solar cells; *J. Mater. Chem. A*, 査読有 **2014**, 2, 3293-3296.
- ⑥ Y. Ooyama, Y. Hagiwara, Y. Oda, H. Fukuoka, and J. Ohshita; BODIPY dye possessing solid-state red fluorescence and green metallic luster property in both crystalline and amorphous states; *RSC Adv.*, 査読有 **2014**, 4, 1163-1167.
- ⑦ Y. Ooyama, Y. Hagiwara, T. Mizumo, Y. Harima and J. Ohshita; Synthesis of diphenylamino-carbazole substituted BODIPY dyes and their photovoltaic performance in dye-sensitized solar cells; *RSC Adv.*, 査読有 **2013**, 3, 18099-18106.
- ⑧ Y. Ooyama, Y. Hagiwara, T. Mizumo, Y. Harima and J. Ohshita; Photovoltaic performance of dye-sensitized solar cells based on D- π -A type BODIPY dye with two pyridyl groups; *New J. Chem.*, 査読有 **2013**, 37, 2479-2485.
- ⑨ Y. Ooyama, Y. Hagiwara, Y. Oda, T. Mizumo, Y. Harima and J. Ohshita; Dye-sensitized solar cells based on functionally separated D- π -A fluorescent dye with aldehyde as electron-accepting group; *New J. Chem.*, 査読有 **2013**, 37, 2336-2340.
- ⑩ Y. Ooyama, Y. Oda, T. Mizumo, Y. Harima and J. Ohshita; Synthesis of Specific

Solvatochromic D- π -A Dyes with Pyridinium Ring as Electron-Withdrawing Group for Dye-Sensitized Solar Cells; *Eur. J. Org. Chem.*, 査読有 **2013**, *21*, 4533-4538.

- ⑪ Y. Ooyama, Y. Oda, Y. Hagiwara, H. Fukuoka, E. Miyazaki, T. Mizumo, and J. Ohshita; Solid-state fluorescence properties and mechanofluorochromism of D- π -A pyridinium dyes bearing various counter anions; *Tetrahedron*, 査読有 **2013**, *69*, 5818-5822.
- ⑫ Y. Ooyama, N. Yamaguchi, I. Imae, K. Komaguchi, J. Ohshita and Y. Harima; Dye-sensitized solar cells based on D- π -A fluorescent dyes with two pyridyl groups as electron-withdrawing-injecting anchoring group; *Chem. Commun.*, 査読有 **2013**, *49*, 2548-2550.
- ⑬ Y. Ooyama, Y. Oda, T. Mizumo and J. Ohshita; Specific solvatochromism of D- π -A type pyridinium dyes bearing various counter anions in halogenated solvents; *Tetrahedron*, 査読有 **2013**, *69*, 1755-1760.
- ⑭ Y. Ooyama, T. Sugiyama, Y. Oda, Y. Hagiwara, N. Yamaguchi, E. Miyazaki, H. Fukuoka, T. Mizumo, Y. Harima, and J. Ohshita; Synthesis of Carbazole-Type D- π -A Fluorescent Dyes Possessing Solid-State Red Fluorescence Properties; *Eur. J. Org. Chem.*, 査読有 **2012**, *25*, 4853-4859.
- ⑮ Y. Ooyama, J. Ohshita, and Y. Harima; Control of Molecular Arrangement and/or Orientation of D- π -A Fluorescent Dyes for Dye-Sensitized Solar Cells; *Chem. Lett.*, 査読有 **2012**, *41*, 1384-1396.

[学会発表] (計 8 件)

- ① ○柴山直之・小澤弘宜・大山陽介・荒川裕則; 酸化チタンの表面サイトである Brønsted 酸サイトと Lewis 酸サイトに対して選択的に吸着する増感色素を用いた共増感色素増感太陽電池; 2014 年度 色材研究発表会, 2014 年 10 月 24 日, 名古屋市工業研究所. 優秀講演賞
- ② 大山陽介; 色素増感太陽電池用色素の新しい分子設計指針の確立; 第 46 回 構造有機化学若手の会 夏の学校, 2014 年 8 月 9 日, 不死王閣, 大阪. 招待講演
- ③ ○山田雄大・大山陽介・播磨裕・大下浄治; 直接電子注入型色素を用いた色素増感太陽電池の開発; 2013 年日本化学会中国四国支部大会, 2013 年 11 月 17 日, 広島大学. 学生優秀発表賞
- ④ 大山陽介; 有機光増感色素の分子配列・配向性の制御と光電変換特性; 2013 年電気化学秋季大会, 2013 年 9 月 28 日, 東京工業大学大岡山キャンパス, 東京. 招待講演
- ⑤ Y. Ooyama; Development of D- π -A Dye Sensitizers with Pyridyl Group for

High-Performance Dye-Sensitized Solar Cells; Collaborative Conference on 3D & Materials Research (CC3DMR) 2013; Ramada Jeju, South Korea (25 June 2013). 招待講演

- ⑥ Y. Ooyama, T. Nagano, S. Inoue, Y. Harima, and J. Ohshita; Dye-Sensitized Solar Cells Based on New Type of D- π -A Dye Sensitizers, The 12th International Kyoto Conference on New Aspects of Organic Chemistry, in Kyoto, Japan, Abstract Number OP-56, (16 November, 2012).
- ⑦ 大山陽介; メカノフルオロクロミック色素の分子設計, 合成, 機能評価; 色材協会創立 85 周年記念 2012 年度色材研究発表会, 2012 年 9 月 21 日, 大阪府立大学中百舌鳥キャンパス, 堺市. 招待講演
- ⑧ Y. Ooyama; Development of New Type of D- π -A Photosensitizers with Pyridyl Group for Dye-Sensitized Solar Cells— New Challenges in Photoinduced Electron-Transfer Chemistry of Organic Materials in 2012 Annual Meeting of The Japanese Photochemistry Association; Tokyo Institute of Technology, Tokyo, Japan (ISP04, 12 Sep. 2012). 招待講演

[図書] (計 2 件)

- ① Y. Ooyama; Dyes, Solar Cells; *Kirk-Othmer Encyclopedia of Chemical Technology*, p1-36, **2013**, John Wiley and Sons, Inc.
- ② 大山陽介; 第 5 章 新型 D- π -A 蛍光性色素を用いた高効率な色素増感太陽電池の開発; *高効率太陽電池 化合物・集光型・量子ドット・Si・有機系・その他新材料*, p269-277, エヌ・ティー・エス, 2012 年 5 月出版.

[産業財産権]

○出願状況 (計 1 件)

名称: ドナー- π -アクセプター型化合物及び色素増感太陽電池用色素
発明者: 大山陽介、播磨 裕、大下浄治
権利者: 広島大学
種類: 特許
番号: 出願番号 2012-156964
出願年月日: 2012 年 7 月 12 日
国内外の別: 国内

[その他]

ホームページ等

http://home.hiroshima-u.ac.jp/orgmtrls/Ohshita_Group/Ohshita_Group-Home.html

6. 研究組織

(1) 研究代表者

大山 陽介 (OOYAMA, Yousuke)

広島大学・大学院工学研究院・准教授

研究者番号: 60403581