

科学研究費助成事業 研究成果報告書

令和 2 年 9 月 17 日現在

機関番号：32403

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2017～2019

課題番号：17K05760

研究課題名(和文) 過渡吸収法と過渡発光法による有機太陽電池の初期過程に関する速度論的研究

研究課題名(英文) Kinetics of primary processes in the organic solar cells by transient absorption and emission spectroscopies

研究代表者

見附 孝一郎 (Mitsuke, Koichiro)

城西大学・理学部・教授

研究者番号：50190682

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,800,000円

研究成果の概要(和文)：粒径や形態の異なるTiO₂ナノ粒子を用いて、光電変換電極に多段電子輸送層や光反射層を設けることで光電変換効率が著しく改善された色素増感太陽電池(DSSC)を製作し、電流密度-電圧曲線、交流インピーダンス曲線、等価回路理論式を用いて内部抵抗を推定し変換効率への影響を考察した。レーザー励起時間分解発光分光装置を用いて、光電変換電極の過渡発光を観測した。酸化物半導体ナノ粒子に吸着した色素分子の発光減衰曲線から、一重項励起状態からの失活過程に関する反応速度定数を決定した。また、ヨウ化鉛ペロブスカイト中の励起子の拡散長およびその寿命を測定するため、時間分解分光法によって光ルミネッセンスを観測した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

軽量で低コストの色素増感太陽電池(DSSC)とペロブスカイト太陽電池(PVSC)は典型的なメゾスコピック太陽電池であり、フレキシブル基板の併用による住宅建材やモバイル機器への応用が期待されている。本研究成果により(1)内部電力損失の少ない長寿命のDSSCの製作、および(2)鉛フリーで色彩可変のPVSCの開発という目標に向けて、面積が約0.25 cm²でエネルギー変換効率が約10%のセルの安定供給、分子レベルでの発電機構の解明、およびレーザーと電子顕微鏡を用いた評価技術の確立への道筋が拓かれた。とくに、電子や励起子の生成、輸送、消滅現象に対する高速光検出によるアプローチが確立された。

研究成果の概要(英文)：We studied dye-sensitized solar cells (DSSCs) consisting of multilayered nanocrystalline TiO₂ films with sensitizer dye to achieve economical photovoltaics with high power conversion efficiencies and better durability. The best fitting of the current-voltage curve to the theoretical equation allowed us to evaluate the series resistor R_S , which values agree well with those derived from electrochemical impedance spectroscopy. Our results certified the validity of the equivalent circuit employed and the individual resistances obtained from EIS.

Ultrafast electron injection favorably proceeds from photoexcited dye molecule to TiO₂ for the primary photovoltaic process in the DSSC. This electron injection should compete with other decays such as fluorescence emission or intramolecular nonradiative transitions. We estimated the rate constants for respective pathways from push-pull type organic dyes and compared the fluorescence lifetimes of dyes between isolated and adsorbed species.

研究分野：反応物理化学

キーワード：有機太陽電池 光エネルギー変換 発光スペクトル 時間分解分光 色素増感太陽電池 ペロブスカイト太陽電池 酸化チタンナノ粒子 励起分子動力学

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

色素増感太陽電池やペロブスカイト太陽電池のエネルギー変換効率は結晶シリコン太陽電池にまだ及ばず、実用化に向けてはセル内部の励起エネルギー伝達やエネルギー散逸の機構を詳細に調べて、妥当な改善策を講じていくことが重要である。過去の多くの研究から、界面での電子移動過程や電荷再結合反応が複雑に関与していることが知られているが、それらの中でも光励起直後の素反応過程については不明な点が多い。初期過程の速度論と動力学が解明されれば、光吸収体中のポーラロン対の移動度を高めたり、電極薄膜界面の3次元空間構造をデザインしたり、添加物によって伝導帯の末端形状を歪めるなど、光電変換効率の向上に向けた対策を講ずることが可能となる。

2. 研究の目的

(a)有機色素と酸化物半導体との界面近傍、ならびに(b)有機無機混成ペロブスカイトと酸化物半導体との界面近傍、の両者における光励起と電荷分離の初期過程は、量子準位のエネルギー論および光励起分子、ポーラロン対と電荷輸送子の反応速度論に複雑に関わっている。優れた色素増感太陽電池やペロブスカイト太陽電池を開発するためには、ナノ秒以下の過渡分光法によりこれら初期過程を観測しそのメカニズムを理解することが重要課題である。本研究では、色素から酸化物半導体への電子注入速度や電荷移動錯体の生成・消滅速度を推定し、太陽電池の変換効率向上に向けて酸化物半導体の伝導帯をデザインする。光電変換効率の急速な増加に伴い、ペロブスカイト太陽電池の実用化に向けた開発研究が各所で進められている。本研究では、ペロブスカイト中の電荷輸送子の拡散長を求め、酸化物半導体の3次元構造や界面でのエネルギー準位差が電荷分離効率に及ぼす影響を解明する。

以上の知見に基づいて、高効率の色素増感太陽電池やペロブスカイト太陽電池を製作するための指針を得る。現実の電池の発電性能は、接合界面での電荷分離と電子移動に関わる内部抵抗や電気容量など巨視的物理量を用いて合理的に理解できる。したがって、実用的な電池を合理的に開発するためには、妥当な等価回路を考案し、電池の作製条件を少しずつ変えながら、電気化学測定等を用いて各回路素子における抵抗と電気容量を正確に導出するというフィードバック過程を繰り返していく。これにより、それぞれの作製パラメータが、どの部位のどのような初期過程に影響を与えているかを探索する。

3. 研究の方法

(1) 色素増感太陽電池とペロブスカイト太陽電池の時間分解分光

酸化物半導体に吸着したD-π-A型色素の光励起初期過程については、2017年度に過渡発光法と過渡吸収法のそれぞれの手法で、直接的電子注入と電荷移動錯体経由の間接的電子注入の反応速度を求めた。2018年度以降は、電解液を含む電池の環境下で、電子注入の高速化、開放電圧の向上、電荷再結合の抑制の三点が満足される妥協条件を見出した。ハロゲン化有機鉛ペロブスカイトと酸化物半導体の2層系の光励起初期過程については、2017年度にストリークカメラの改造を施したのち、過渡発光法と過渡吸収法で、電荷輸送子の拡散長を求めた。また、2018年度からは2成分ハロゲン化ペロブスカイトを用いてバンドギャップを操作し、電荷分離効率の自由エネルギー差依存性を検討を開始した。また接合界面を3次元構造体に変え、広い範囲の励起光波長での拡散長の測定も試みた。

(2) 多層薄膜と光反射層を有する色素増感太陽電池の発電効率最適化

異なる結晶構造、粒径分布および反射率を持つ3種類の酸化チタンのサブマイクロ粒子(ルチル型、アナターゼ型、スーパーチタニア)を原料として用意し、それぞれからペーストを調整し光反射層を作製して発電性能を比較した。光吸収層の膜厚を増加させることで光閉じ込め効果をもたらし、エネルギー変換効率への影響を調べた。

(3) 電気化学測定による内部抵抗の測定

色素増感太陽電池は図1の等価回路で表されるので、交流インピーダンススペクトル(EIS)からその内部抵抗を推定できる。この内部抵抗は複数の抵抗の寄与からなり、その主なものは導電性ガラスの抵抗 R_n 、白金触媒上の電子移動に関わる抵抗 R_1 、TiO₂の伝導帯電子とI₃⁻の電荷再結合に関わる抵抗 R_2 、電解質のキャリア拡散に関わる抵抗 R_3 である。

本研究では、電流密度-電圧(J - V)曲線、EIS、等価回路の理論式(1)を用いて内部抵抗を推定し変換効率への影響を考察した。

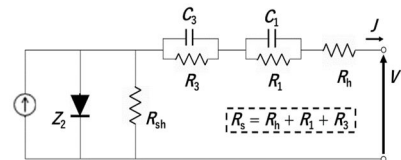


図1.色素増感太陽電池の等価回路

$$J_{SC} - J - \frac{V + JR_s}{R_{sh}} - A \left[\exp \left\{ \frac{F}{nRT} (V + JR_s) \right\} - 1 \right] = 0 \quad (1)$$

4. 研究成果

(1) 色素増感太陽電池とペロブスカイト太陽電池の時間分解分光

色素増感太陽電池に利用できる低価格機能材料の合成とその性能最適化を目的として、広い

波長領域の太陽光を効率よく吸収する色素分子の探索および半導体光電変換電極の多孔質化と大面積化などの研究を進める。色素増感太陽電池の発電メカニズムの初期過程として、励起色素から酸化半導体ナノ粒子への高速電子注入が優先的に進行する。一方、蛍光発光や無輻射遷移によって電子励起状態から基底状態に戻る緩和過程も競合する。本研究では、複数の有機色素について、それぞれの経路の速度定数 k を求め、孤立分子の蛍光寿命のデータと比較した。

市販の TiO_2 ナノ粒子 P90 または酸化ジルコニウム ZrO_2 に、分散媒として酢酸、界面活性剤として γ -テルピネオール、増粘剤を加えてペースト化した。それぞれのペーストを導電性 FT0 ガラス基板に塗布し、450 °C の焼成で形成された TiO_2 または ZrO_2 薄膜に色素を吸着させた。用いた色素はインドール系色素 D149 および共同研究者らが設計・合成した D- π -A 型色素である。ピコ秒レーザーダイオードからの 470nm の光で試料基板を励起して、分光器とストリークカメラを用いて時間分解発光を測定した (図 2)。

光吸収で生成する色素の一重項電子振動励起状態 S_n は分子内振動エネルギー再分配によって、第一励起状態 S_1 に無輻射遷移する。続いて蛍光を発して S_0 状態に戻る。この逐次過程以外に、 S_n から S_1 や S_0 の振動励起状態への内部転換も進行する。さらに、 TiO_2 薄膜上の色素分子の場合は、 S_n 状態の励起電子が TiO_2 の伝導帯に高速注入されることが知られている。得られた過渡発光曲線を理論式にフィッティングさせ、励起状態 S_n からの失活過程の反応速度 k_{nr} 、 k_f 、 k_{ic} 、 k_{inj} を決定した (図 3)。

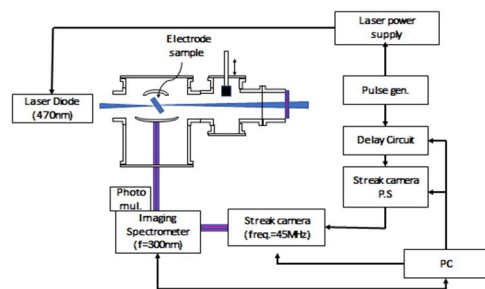


図 2. レーザー過渡発光分光装置

その際に単独分子の蛍光量子収率 Φ_{rad} は、積分球法で求めたクロロホルム溶液中の色素の Φ_{rad} に等しいと仮定した。電子注入ダイナミクスを議論するために、色素のクロロホルム溶液のサイクリックボルタメトリを測定した。サイクリックボルタモグラムの酸化ピークの立ち上がり電位と標準物質であるフェロセンの立ち上がり電位との差を求め、フェロセンの真空準位からの相対エネルギーから各色素の HOMO 準位を決定した。さらに、紫外可視吸収スペクトルの低エネルギー側のしきい値を HOMO エネルギーに加えることで、LUMO 準位の位置を求めた。

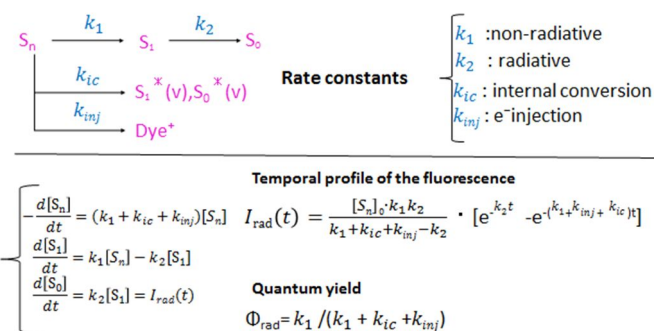


図 3. 吸着色素の脱励起過程と発光の時間変化

D149 を例にとって波長領域 700 ~ 660nm における時間分解発光強度曲線を図 4 に示す。2 つの曲線から、 ZrO_2 薄膜よりも TiO_2 薄膜上に吸着した色素の方が速く蛍光減衰することがわかった。これは、1 ns 以下の時間スケールで色素から TiO_2 薄膜への電子注入が起こるためと考えられる。つまり、色素の S_n 状態が基底状態に脱励起する前に、励起電子が TiO_2 の伝導帯へ注入されるため、蛍光量子収率が減少し、見かけの蛍光寿命が短縮されたと解釈される。蛍光寿命は発光強度曲線の減衰部の傾きによって決まる。D149 および 3 種類の D- π -A 色素の真空準位から測った軌道エネルギーの値から、D149 以外の D- π -A 色素の LUMO 準位が ZrO_2 の伝導帯の底 (-3.5eV) よりも高いことがわかり、エネルギー的には電子注入が可能と予想できる。したがって、 ZrO_2 に D- π -A 色素を吸着させた試料の過渡発光分光測定においては、電子注入まで考慮して曲線をフィッティングさせた。

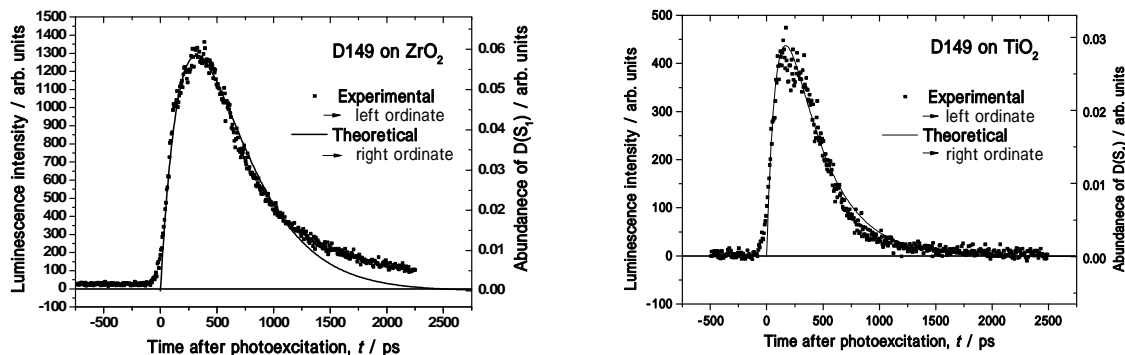


図 4. 吸着色素 D149 の過渡発光分光 (左) ZrO_2 基板と (右) TiO_2 基板

ヨウ化鉛ペロブスカイト中のエキシトンの拡散長およびその寿命を測定する目的で、エキシトンからの光ルミネッセンスを時間分解分光法によって観測した。試料は石英基板、緻密酸化チタン薄膜、ペロブスカイト結晶、電荷輸送物質の4層構造を持つ。この太陽電池の層構成と成膜法を検討した。まず、緻密 TiO₂ 層の作製時に電気炉で高温焼成することで TiO₂ 層が FT0 基板に強く結合され高効率の電子輸送が実現された。第二に、TiO₂ 懸濁液中の P90 と P25 の組成や分散剤の添加量を変えることで、多孔質 TiO₂ 層の間隙率を高めて粒径 50 nm 以上の Pv 結晶が入り込んで三次元的な接合を形成できるようになった。第三に、PbI₂ 溶液の塗布後に基板を真空中に静置し溶媒を除去することで、CH₃NH₃I との反応による結晶成長を促進できた。第四に、厚み約 40 nm の金接点を真空蒸着することでペロブスカイト結晶の破壊や劣化を防止できた。以上4つの改善の結果、 J_{sc} が格段に上昇し 5% を超える変換効率を得られた。電荷輸送物質として、電子輸送体のスピロ化合物またはホール輸送体の PCBM を用いると、780nm 付近の発光の寿命が 1ns 程度まで減少した(図5)。この結果から、平面ヘテロ接合面でエキシトンが電子とホールに分離すると予想された。

(2) 多層薄膜と光反射層を有する色素増感太陽電池の発電効率最適化

市販のアナターゼ型 TiO₂ ナノ粒子を原料とした下層の薄膜には P90(平均粒径 $d \sim 15\text{nm}$) および P25($d \sim 25\text{-}30\text{nm}$) を用いた。一方、光反射層用にはルチル型(高純度化学; $d \sim 500\text{nm}$)、アナターゼ型(高純度化学; $d \sim 576\text{nm}$)、スーパーチタニア(昭和電工; $d \sim 250\text{nm}$) の3種類のサブマイクロ粒子を用いた。その粉末に分散剤、界面活性剤、増粘剤を加えてホットスターラーで攪拌し、ペーストを調整した。導電性ガラス(FT0) にペーストをスキージー法で塗布し 125 °C で乾燥させ、その後 450 °C で焼成した。さらに薄膜の上にサブマイクロ粒子粉末を原料としたペーストを塗布・焼成することで光反射層(LRL)を形成させた。次にルテニウム色素 N719 に浸漬させアノードとした。別の FT0 に市販の白金ナノペーストを塗布・焼成しカソードとした。この2つの電極をハイミランで接着し、イオン液体 BMII を含む自作のヨウ素系電解液を電極間に封入しセルとした。

異なる LRL からなる太陽電池の比較を表1にまとめた。表1は3層構造の結果である。また、平均変換効率 η は3個以上のセルの平均値である。また、表1には、比較のために、既製品の TiO₂ ペースト(日揮触媒 PST-400C $d \sim 400\text{nm}$) を用いて光反射層とした DSSC も作製し、その結果を PST-400C の行に示してある。PST-400C に比べて、サブマイクロ粒子粉末を原料にした3種類すべてで開放電圧 (V_{oc}) が向上した。しかし、ルチル型粉末のペーストを除き、短絡電流密度 (J_{sc}) は PST-400C よりも減少した。これは、走査電子顕微鏡(SEM)の断面図、または最上層の拡大図から予測される。また、光吸収層の膜厚増加によるセルの比較に関してもデータが得られている。

表1. J - V 特性の反射層依存性(3層構造)

TiO ₂ for LRL	$J_{sc} / \text{mA cm}^{-2}$	V_{oc} / V	FF	$\eta / \%$
rutile	13.6	0.691	0.658	6.18
anatase	13.0	0.703	0.657	6.0
Super titania	13.2	0.693	0.628	5.74
PST-400C	13.6	0.682	0.645	5.98

(3) 電気化学測定による内部抵抗の測定

二種類の TiO₂ ナノ粒子(P90, $d = 15 \text{ nm}$; P25, $d = 25 \sim 30 \text{ nm}$) を用いて作製した TiO₂ ペーストを FT0 に塗布し焼成した。続いて $d \sim 400 \text{ nm}$ の反射層用 TiO₂ ペーストを塗布し焼成した。Ru 錯体色素 N719 の染色液に TiO₂ 薄膜を1日浸漬して、色素分子を吸着させた(陽極)。別の FT0 に白金触媒を塗布・焼成し陰極とした。陽極と陰極を接着した後、電解液を封入し電池とした。陽極を塩化チタン水溶液 TiCl₄(aq) で処理する場合は、(a) FT0 素材自体を TiCl₄(aq) に

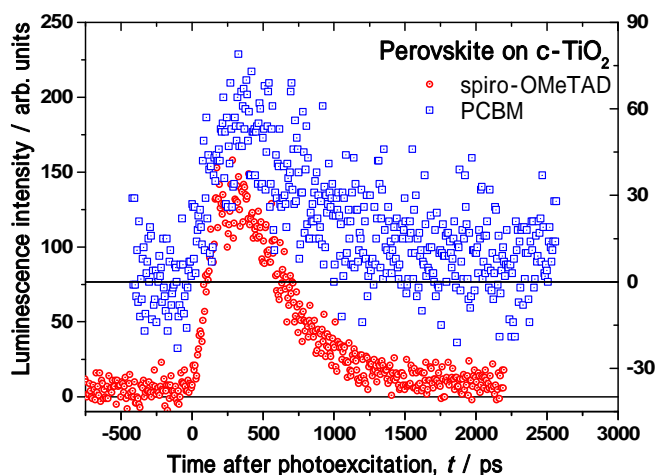


図5. spiro-OMeTAD または PCBM で被覆した緻密 TiO₂ 層上のペロブスカイト結晶の時間分解発光曲線

浸し焼成する方法か、(b) 製膜後の TiO₂ ナノ粒子層を TiCl₄(aq) に浸し焼成する方法を採用した。セルの開放電圧 V_{OC} 条件下の EIS 測定からナイキストプロットを描き、図 1 で定義した直列抵抗 R_s = R_h + R₁ + R₃ を求めた。次に、ソーラーシミュレーターによる疑似太陽光照射下および暗条件下で J-V 曲線を測定し、式 (1) を用いてフィッティングを行い並列抵抗 R_{sh} 及び逆飽和電流 A の値を推定した。ここで理想ダイオード因子は n = 1.0 とした。さらに、V_{OC} での暗電流値 J_{dark} から R_s を計算し (以下 R_s(D) と表記) EIS の結果と比較した。

R_s としては、光マスクの面積 (0.231 cm²) のみを用いた R_s(M) と、電解液の充填面積 (0.64 cm²) まで考慮した R_s(E) の 2 種類の値を用いてフィッティングした。この結果、R_s(E) の方がよい合致をもたらした。しかも、式 (1) の R_{sh} を と仮定すると式 (2) が得られるが、この式から求めた R_s(D) も R_s(E) に近くなった。

$$R_s = \frac{nRT}{F J_{\text{dark}}} \ln \left(\frac{J_{\text{dark}}}{J_{\text{SC}}} \right) \quad (2)$$

以上から、直列抵抗としては R_s(E) を用いる方が妥当であると結論される。おそらく、電解液中の酸化還元反応が界面での電荷交換反応に比べ遅いため電解液全体に電子が拡散することを考慮しなければならないと考えられる。

次に太陽電池の温度を 10 から 40 まで、10 刻みに変化させて、J-V 曲線の温度依存性を調べた。式 (1) の逆飽和電流密度 A は温度とともに 2.8 × 10⁻¹⁵ から 1.5 × 10⁻¹³ A cm⁻² へと増加し、次式 (3) から予想される通り V_{OC} は 0.691 V から 0.657 V まで減少した。

$$V_{\text{OC}} = \frac{nRT}{F} \ln \left(\frac{J_{\text{SC}}}{A} + 1 \right) \quad (3)$$

温度の上昇とともに、V ~ V_{OC} 付近での J-V 曲線の傾きの絶対値は緩やかに増加した。これは図 1 の R₁ が負の温度依存性を持ち、しかも

$$-\frac{dV}{dJ} = \frac{nRT}{F} \frac{1}{J_{\text{SC}} - J} + R_s = \frac{nRT}{F} \frac{1}{J_{\text{SC}} - J} + R_1 + R_3 + R_h \quad (4)$$

の関係式が成り立つためである。この式 (4) の右辺第 1 項は、J = 0, V = V_{OC} を中心とする交流インピーダンス測定 (EIS) で得られた R₂ と一致する。さらに、EIS から推定される EIS の参照電圧を V_{OC} - 0.02V から V_{OC} + 0.02V まで変化させて求めた R₂ は、図 6 に示すとおり減少傾向を示した。これらの結果はすべて、我々の等価回路解析の妥当性を支持している。

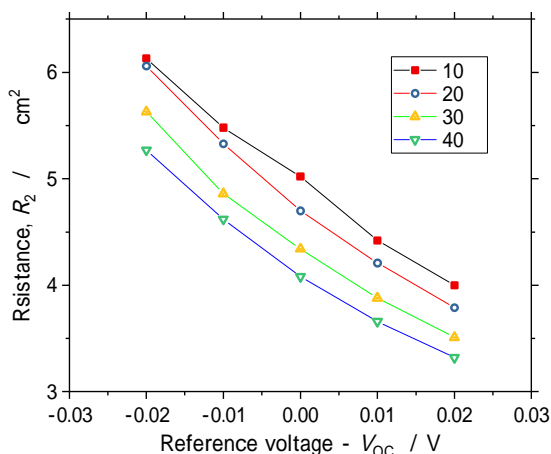


図 6. 内部抵抗 R₂ の電圧依存性

[1] K. Mitsuke, K. Watanabe, K. Takayanagi, A.

Yoshida, 日本化学会第 98 春季年会 2018 年 3 月.

[2] Y. Saito, K. Mitsuke, 34th Symp. Chem.

Kinetic. Dynam. (Kyoto) 2018 年 6 月.

[3] R. Watai, T. Fujiya, K. Mitsuke, *ibid.*

[4] 齋藤, 出島, 東村, 見附, 第 12 回分子科学討論会 2018 年 9 月.

[5] K. Takuma, R. Watai, T. Fujiya, A. Higashimura, K. Mitsuke, 35th Symp Chem Kinet. Dynam. (Higashi-Hiroshima) 2019 年 6 月.

[6] K. Mitsuke, R. Watai, K. Takuma, T. Fujiya, Intern. Symp. Environm.-Life Sci. Nanosc. Technol. 2019 (ISENT 2019) (Yangon, Myanmar) Invited 2019 年 12 月.

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計2件（うち査読付論文 2件 / うち国際共著 2件 / うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 Koichiro Mitsuke, Ryohei Watai, Katsunari Takuma, Takumu Fujiya	4. 巻 2
2. 論文標題 Analyses of Parameters Affecting the Fill Factors of Dye Sensitizing Solar Cells	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Proceedings on International Symposium on Environmental-Life Science and Nanoscales Technology 2019 (ISENT 2019)	6. 最初と最後の頁 2-6
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

1. 著者名 1.Pongthep Prajongtat, Songwut Suramitr, Somkiat Nokbin, Koichi Nakajima, Koichiro Mitsuke, Supa Hannongbua	4. 巻 76
2. 論文標題 Density functional theory study of adsorption geometries and electronic structures of azo-dye-based molecules on anatase TiO ₂ surface for dye-sensitized solar cell applications	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Journal of Molecular Graphics and Modelling	6. 最初と最後の頁 551-561
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.jmgs.2017.06.002	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

〔学会発表〕 計13件（うち招待講演 1件 / うち国際学会 7件）

1. 発表者名 Katsunari Takuma, Ryohei Watai, Takumu Fujiya, Ayano Higashimura, Koichiro Mitsuke
2. 発表標題 Temperature dependence of the current-voltage characteristics of organic solar cells
3. 学会等名 35th Symposium on Chemical Kinetics and Dynamics (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 小澤 奈々子・田沼 佑里・見附 孝一郎
2. 発表標題 気 / 水界面上のC60脂肪酸混合薄膜とそのLB転写膜におけるC60の分散状態
3. 学会等名 日本化学会春季年会2020
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 SAITO, Yuki; MITSUKE, Koichiro
2. 発表標題 Exciton dissociation to charge carriers in perovskite solar cells
3. 学会等名 34th Symposium on Chemical Kinetics and Dynamics (Kyoto) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 WATAI, Ryohei; FUJIYA, Takumu; MITSUKE, Koichiro
2. 発表標題 Impedance analyses for the interface of nanostructures in dye-sensitized solar cells
3. 学会等名 34th Symposium on Chemical Kinetics and Dynamics (Kyoto) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 齋藤 祐希, 出島 康琢, 東村 綾乃, 見附 孝一郎
2. 発表標題 ペロブスカイト接合面におけるエキシトンの電荷分離
3. 学会等名 第12回分子科学討論会 (福岡)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 MASUOKA, Yuta; HANAYAMA, Shinnosuke; GOMI, Tomoki; NAITO, Tomotaka; MITSUKE, Koichiro
2. 発表標題 Syntheses of ZnO nanorods on glass or flexible substrates utilized for manufacturing dye-sensitized solar cells
3. 学会等名 33rd Symposium on Chemical Kinetics and Dynamics (Nagoya) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 FUJIYA, Takumu; INUZUKA, Takuya; MITSUKE, Koichiro
2. 発表標題 Design and construction of multilayer TiO ₂ thin films used for photovoltaic electrodes
3. 学会等名 33rd Symposium on Chemical Kinetics and Dynamics (Nagoya) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 WATANABE, Kouhei; YOSHIDA, Akira; TATSUNO, Yo; MITSUKE, Koichiro; TAKAHASHI, Katsuya; HASHIMOTO, Masashi
2. 発表標題 Transient emission spectroscopy of the D- -A type organic dyes adsorbed on metal oxide semiconductor nanoparticles
3. 学会等名 33rd Symposium on Chemical Kinetics and Dynamics (Nagoya) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 渡邊 晃平・高柳 康平・吉田 輝・見附 孝一郎・高橋 克弥・橋本 雅司
2. 発表標題 金属酸化物半導体に吸着したD- -A型色素分子の過渡発光分光
3. 学会等名 2017年光化学討論会(仙台)2017年9月
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 増岡優太、渡井綾平、見附孝一郎
2. 発表標題 酸化亜鉛ナノロッドによる色素増感太陽電池のインピーダンス解析
3. 学会等名 第11回分子科学討論会(仙台)2017年9月
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 犬塚拓哉、藤谷拓夢、見附孝一郎
2. 発表標題 色素増感太陽電池の陽極における光触媒粉末を用いた光反射層の作製と評価
3. 学会等名 第11回分子科学討論会（仙台）2017年9月
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 MITSUKE, Koichiro; WATANABE, Kouhei; TAKAYANAGI, Kohei; SAITO, Yuki
2. 発表標題 Transient emission spectroscopy of dye molecules adsorbed on metal oxide semiconductor and perovskite crystals junctioned to carrier transport materials
3. 学会等名 日本化学会春季年会 ATPポスター 2018年3月
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Koichiro Mitsuke, Ryohei Watai, Katsunari Takuma, Takumu Fujiya
2. 発表標題 Analyses of Parameters Affecting the Fill Factors of Dye Sensitizing Solar Cells
3. 学会等名 International Symposium on Environmental-Life Science and Nanoscales Technology 2019 (ISENT 2019) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考