

科学研究費助成事業 研究成果報告書

令和 2 年 6 月 9 日現在

機関番号：14401

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2016～2019

課題番号：16K05885

研究課題名(和文)超高速レーザー分光法を利用した量子ドット増感太陽電池の高性能化設計

研究課題名(英文) Design of semiconductor quantum dot sensitised solar cells to maximise their performance using ultrafast laser spectroscopy

研究代表者

橘 泰宏 (Tachibana, Yasuhiro)

大阪大学・理学研究科・招へい教授

研究者番号：30359856

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)：サイズ、バンド準位の制御並びにトラップ準位密度の制御を行うことが可能な安価・低毒性のPbS量子ドットの合成法を確立した。単分散で発光量子収率が70%弱に迫るドットの作製に成功した。

CdS量子ドット増感太陽電池の光電流量は、CdSからの電子注入効率によって支配されていることが分かった。量子ドット増感太陽電池内の材料界面における全ての電荷移動反応プロセスが、電荷再結合反応よりも十分に速く進行する状況を作り出すことができれば、短絡光電流・開放端電圧・フィルファクタの全ての因子を最大化することが可能であることが分かった。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究は、我々が、これまで確立した「サイズの揃った良質の半導体量子ドット合成法」と「その増感型太陽電池への応用」において、「超高速レーザー分光法」を用いて「量子ドット界面電荷移動反応」を学術的に精密に評価しながら、効率向上の指針を確立したところに学術的意義を持つ。

社会的意義に関しては、量子ドット増感太陽電池内の材料界面における全ての電荷移動反応プロセスが、電荷再結合反応よりも十分に速く進行する状況を作り出すことができれば、太陽電池性能の全ての因子を最大化することが可能であることが分かったことから、量子ドット増感太陽電池の実用化に向けたデバイス設計指針を明らかにした。

研究成果の概要(英文)：We have established a novel low cost and less toxic method to synthesize size controlled (i.e. band potential controlled) PbS semiconductor quantum dots (QDs) with narrow size distribution. Their trap states were readily passivated, resulting in photoluminescence quantum yield of ~70%.

We found that photocurrent generation from a CdS QD sensitized solar cell is controlled by an efficiency of an electron injection from a CdS QD to TiO₂. We also identified that short circuit photocurrent, open circuit photovoltage and fill factor from a QD sensitized solar cell can be maximized, provided that the forward electron transfer processes occur sufficiently faster than their charge recombination processes.

研究分野：エネルギー化学

キーワード：太陽電池 量子ドット増感膜 過渡吸収スペクトル 光誘起電子移動反応 超高速レーザー分光

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

近年、太陽電池の高効率化並びに低価格化の開発研究が活発に進んできた。特に、新規太陽電池として研究が進められているペロブスカイト太陽電池は、作製プロセスで安価溶液法を用いることから、次世代の高効率・低コスト太陽電池として期待されている。一方、シリコン太陽電池とのタンデム化などで、更なる高効率化を実現するためには、より狭バンドギャップの半導体を用いた安価太陽電池の開発が期待される。半導体量子ドット(QD)は、現在最も魅力的な材料の一つである。量子ドット太陽電池は、ドットの組成を選択し、サイズの低下と共にバンドギャップが大きくなる量子サイズ効果を利用することにより、広範囲の光吸収領域調整が可能である。しかし、狭バンドギャップ量子ドット太陽電池の開発は、現状あまり活発に進んでいない。

申請者は、これまで量子ドット増感太陽電池の高効率化研究を量子ドットの精密合成設計からレーザー分光法などを用いた機能解明に至るまで系統的に進めてきた。特に、太陽電池性能に関しては、国内外で短絡光電流増加の研究が主流な中で、独自に開放端電圧向上に寄与する研究を行ってきた。

開放端電圧を維持したまま、短絡光電流を向上させるには、狭バンドギャップ量子ドットを用いて、光吸収領域を広げ、吸収フォトン数を増加させればよい。ところが、たとえ熱力学的に量子ドットからの電荷移動が十分に可能な酸化チタン並びに電解質を選択しても、バンドギャップが約 1.1 eV の PbS 量子ドットを用いると、バンドギャップが約 2.6 eV の CdS 量子ドットと比べて、予想に反して、短絡光電流の低下がみられる。明らかに吸収されたフォトンが電流にほとんど寄与していない。増感型太陽電池は、電荷分離反応と再結合反応の速度差で、性能が決定されていることが知られていることから、原因としては、光吸収により発生した励起子が電荷分離に至る割合が小さいか、電荷分離反応が進行しても、キャリアが取り出せずに、再結合反応によって損失しているかのいずれかである。つまり、量子ドット界面の電荷移動反応がスムーズに進行していないことが考えられる。このことから、狭バンドギャップ量子ドット界面の光誘起電荷分離反応・再結合反応メカニズムを超高速レーザー分光法並びに光電気化学測定法を用いて詳細に解明することにより、電圧を維持したまま電流の向上が可能な量子ドット増感膜の設計指針を得ることを究極の研究目標とする着想に至った。

2. 研究の目的

半導体量子ドット界面の光誘起電荷分離・再結合反応メカニズム、電解質への電荷再結合過程を超高速レーザー分光法並びに光電気化学測定法によって解明し、更に量子ドットのタイプ・サイズ・構造の因子で制御することによって、量子ドット増感太陽電池の電流・電圧向上の指針を得ることを目的とする。

上記目的を達成するために、太陽電池構造内の量子ドット界面において、以下の 3 点に関して、量子ドットのタイプ・サイズ・構造・環境が界面反応過程に与える影響を解明する。

- (1) 量子ドットの価電子帯・伝導帯・トラップ準位の制御
- (2) 量子ドット・酸化チタン界面の光誘起電荷分離・再結合反応速度と電荷分離量子収率の向上
- (3) 電解質への再結合抑制による開放端電圧の向上

3. 研究の方法

(1) 量子ドットの電子準位制御

界面電荷移動反応機構を解明するためには、トラップ準位も含めた量子ドットの電子準位を制御する必要がある。特に、トラップ準位は、量子ドット内での電荷再結合反応を促進する可能性があることから、トラップ準位密度の制御を行うことは、電荷分離効率の向上、つまり太陽電池性能の向上に寄与する。

本申請者は、これまで量子ドットの合成並びにそのトラップ準位の特徴に関して明らかにしてきた。本研究課題では、トラップ準位の減少を目指した新規 PbS 量子ドットの作製法を検討する。

(2) 量子ドット・酸化チタン界面の電荷分離・再結合反応

量子ドット増感酸化チタンナノ粒子膜を作製し、その光誘起電子注入反応並びに再結合反応を評価し、その速度の制御を検討する。具体的には、CdS 量子ドットの酸化チタンナノ粒子膜上への担持方法を変え、その方法が電荷分離・再結合反応に与える影響を検討する。次に、上記によって作製した PbS 量子ドットを直鎖有機分子吸着剤を介して、酸化チタンナノ粒子膜内に担持し、その励起子の緩和過程、電子注入反応、電荷再結合反応を観測する。PbS 量子ドットのサイズがこれらの反応速度に与える影響を探る。広波長領域で観測可能なフェムト秒過渡吸収スペクトル測定装置並びにナノ秒～マイクロ秒過渡吸収スペクトル・過渡発光スペクトル測定装置を用いて、反応過程を詳細に検討する。

(3) 電解質への再結合抑制

量子ドットから電荷分離反応が進行すると、量子ドット・酸化チタン界面における再結合反応を除けば、電荷のロスは、酸化チタンから電解質への再結合反応並びに酸化チタンからフッ素ドーパード酸化スズ透明電極 (FTO 電極) への電子移動反応の後に進行する FTO 電極から電解質への再結合反応になる。これらの再結合反応速度を光電気化学測定法により観測し、その制御を行う。また、量子ドット増感太陽電池を作製し、その性能向上への指針を探る。

4. 研究成果

(1) 量子ドットの電子準位制御

PbS 量子ドットは、広光吸収波長領域を持つ半導体として、新規光電子材料、特に太陽電池の光吸収材料として有望であることから注目されている。しかし、これまで報告されている合成法は、高価で毒性の強い前駆体がいわれていることから、安価で毒性の低い前駆体を用い、安全な合成法を確立することが必要とされている。本研究項目では、PbS 量子ドットのトラップ準位密度の低減を可能とする表面改質過程を含んだ新規 PbS 量子ドットの拡散制御合成法を開発することを目的とする。

鉛前駆体として、塩化鉛、硫黄前駆体として、ジフェニルチオ尿素を用い、ジフェニルチオ尿素溶液を塩化鉛溶液に注入することにより、合成を行った。あらかじめ、ジフェニルチオ尿素をオクタデセン溶媒に 120 度で分散し、冷却後、注入溶液として用いた。一方、塩化鉛をオレイルアミン（配位子）に 125 度で分散し、合成時の温度に至るまで冷却した。塩化鉛溶液を合成温度で保持したのち、適量のジフェニルチオ尿素溶液を塩化鉛溶液に注入した。適した時間合成を行った後、トルエンとエタノール混合溶液を加えることによって合成を停止した。合成した PbS 量子ドット溶液は、前駆体を取り除くために精製した。配位子は、オレイン酸に交換し、トルエン溶液に再分散した。

反応温度と時間を制御して、様々なサイズの PbS 量子ドットを合成した。それぞれのサイズに合成した量子ドットの溶液の吸収スペクトル測定結果を図 1 に示す。どのサイズの溶液においても、780 nm から 1,580 nm に渡る第一励起子のピークが明瞭に観測された。この結果から、バンドギャップが 0.8~1.6 eV、サイズが 2.5~6 nm の量子ドットを調製することが可能であることが分かった。これらの変化は、反応温度を 30 度から 150 度に変更するだけで容易に達成することができる。

温度 50 度で一時間反応を行った量子ドットの TEM 像を図 2a に示す。ほぼ球状のサイズの揃った量子ドットが合成されていることが分かる。この TEM 像を解析した結果を図 2b に示す。平均サイズは 3.6 nm であり、サイズ分散度がわずか 0.4 nm である単分散度の高い量子ドットが合成されたことが分かった。量子ドット 1 つに対して観測した高解像度 TEM 像を図 2c に示す。立方晶の(200)面に対応する幅が 0.29 nm の格子縞が観測された。さらに、X 線回折測定を行った結果を図 2d に示す。この回折パターンからこの試料は、PbS 立方晶を持つことが確認された。

得られた量子ドットに対して、発光スペクトル測定並びに発光量子収率の測定を行った。どのサイズにおいてもバンド幅の小さい高強度の発光スペクトルが観測された（データは示していない）。最高 70% に至る量子収率が得られた。更に、サイズ 2.5 nm の量子ドットに対して、発光寿命を測定した。励起波長 840 nm で励起した過渡発光データを図 3 に示す。ほぼ一次速度論で解析される指数関数的減衰挙動を示し、発光寿命は 2.2 マイクロ秒であった。この値は、これまで報告されている寿命(1.0~1.8 μ s) よりも長く、我々の合成した PbS 量子ドットがトラップ準位の少ない高品質なものであることを示している。

これらの成果は、学術論文 (*J. Mater. Chem. C*, **5**, 2182 - 2187 (2017)) として発表した。

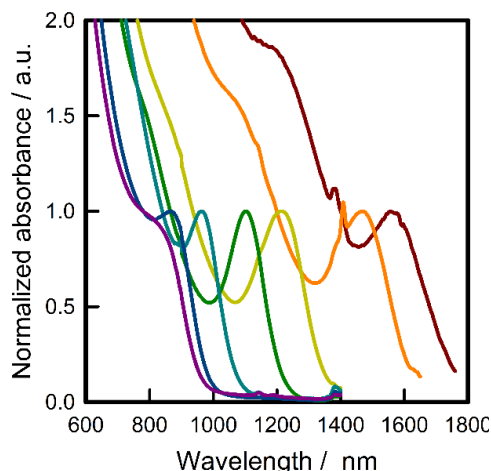


図 1. 励起子ピークが 780 nm から 1,580 nm に渡る様々なサイズの PbS 量子ドットの吸収スペクトル。

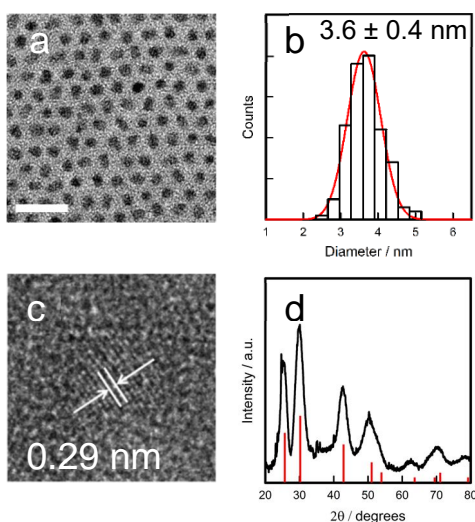


図 2. (a) 励起子ピークを 960 nm に持つ PbS 量子ドットの TEM 像 (スケールの長さ: 20 nm)、(b) 図 a のサイズ解析結果。(c) 量子ドット 1 つの高解像度 TEM 像。(d) 合成した PbS 量子ドットの X 線回折パターン (既知の PbS 立方晶回折角度を赤線で示す)。

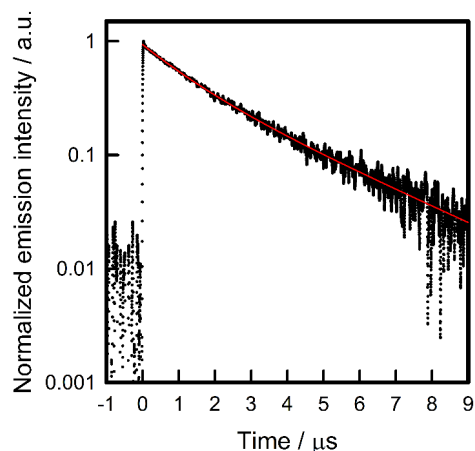


図 3. サイズ 2.5 nm の PbS 量子ドットの過渡発光減衰データ。励起波長: 840 nm。観測波長: 990 nm。2 成分一次反応速度式でフィットを行った結果を赤線で示している。

(2) 量子ドット・酸化チタン界面の電荷分離・再結合反応

量子ドット増感太陽電池の性能は、初期の電荷分離反応過程、つまり量子ドットから酸化チタンナノ粒子膜への電子注入過程によって左右される。この電子注入過程は、量子ドットの担持構造により影響を受ける。その担持方法は、主に2つの方法に分けられる。1つ目は、酸化チタン表面上で量子ドットを合成する方法、2つ目は、量子ドットをあらかじめ合成し、後に、その量子ドットを酸化チタン上に担持する方法である。これまで、これらの2つの方法を用いて、量子ドット増感太陽電池の性能向上を目指した研究例が多く報告されてきたが、未だ性能を左右する因子が明らかになっていない。本研究項目では、同一の量子ドット(CdS) 同一の電子受容体(酸化チタンナノ粒子膜)並びに同一の電解質(他硫化物電解質)を用いて、2つの異なる量子ドット担持方法で量子ドット増感膜、更に量子ドット太陽電池を作製し、過渡吸収スペクトル測定法並びに太陽電池性能を比較することにより、性能を制御する因子を探ることを目的とする。

図4に、SILAR(Successive Ionic Layer Adsorption and Reaction)法(SILAR-CdS/TiO₂)とCdS量子ドットを架橋分子を用いて担持する方法(PSM-CdS/TiO₂)を用いて作製したCdS量子ドット増感膜の構造を示す。また同時にCdS、酸化チタン、フッ素ドープ酸化スズ透明電極のポテンシャルレベルダイアグラムを図4cに示す。

CdS量子ドットは、これまで我々が開発したワンポット合成法(Phys. Chem. Chem. Phys., 17(4), 2850 - 2858 (2015))を用いて合成し、そのCdS量子ドットコロイド溶液を用いて、PSM-CdS/TiO₂膜を作製した。CdS量子ドット増感膜は、以下の方法を用いて作製した。まず、SILAR-CdS/TiO₂膜は、酸化チタンナノ粒子膜を0.1M過酸化カドミウム水溶液と0.1M硫化ナトリウム水溶液に交互に一定時間浸漬し、その交互浸漬を5回繰り返すことによって(CdS量子ドットサイズ:平均2.4nm)作製した。PSM-CdS/TiO₂膜は、まず酸化チタンナノ粒子膜を1Mチオグリコール酸エタノール溶液に一晩浸漬し、次にその膜をCdS量子ドット溶液に一晩浸漬することによって作製した。

CdS量子ドット増感太陽電池内の電荷移動効率を評価するために、CdS量子ドット膜の吸収スペクトルを測定し、その膜に対応する量子ドット増感太陽電池のIPCEスペクトルを測定した。その二つのスペクトルを用いて、APCEスペクトルを割り出した。その結果を図5に示す。SILAR-CdS/TiO₂膜を用いた太陽電池は、400~500nmの範囲で、70~80%のAPCEを示した。一方、PSM-CdS/TiO₂膜を用いた太陽電池は、最大で20%のAPCE値しか得られなかった。このことから、PSM-CdS/TiO₂膜においては、量子ドットから酸化チタンへの電子注入反応、または量子ドットから電解質へのホール移動反応が効率よく進行していないことが予想される。

あらかじめ作製したCdS量子ドットコロイド溶液は、強い発光強度を示すことから、PSM-CdS/TiO₂膜に関して、発光スペクトルを測定した。その結果を図6に示す。比較のためPSM-CdS/Al₂O₃膜を参照サンプルとして作製し、同時に発光スペクトルを測定した。スペクトルの比較から、PSM-CdS/TiO₂膜における電子注入効率は、50~60%程度と見積もられる。

次に、SILAR-CdS/TiO₂膜とPSM-CdS/TiO₂膜の電荷再結合反応を過渡吸収スペクトル測定装置を用いて観測した。その結果を図7に示す。SILAR-CdS/TiO₂膜においては、より速い再結合反応が、マイクロ秒のオーダーで観

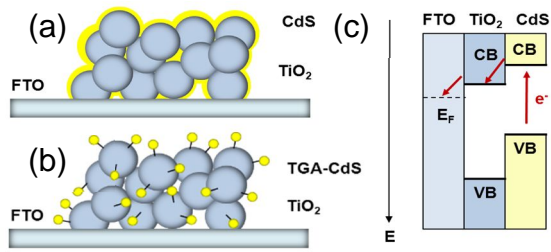


図4. CdS量子ドット増感膜の構造。(a) SILAR-CdS/TiO₂膜。(b) PSM-CdS/TiO₂膜。(c) CdS量子ドット増感酸化チタン電極のポテンシャルレベルダイアグラム。

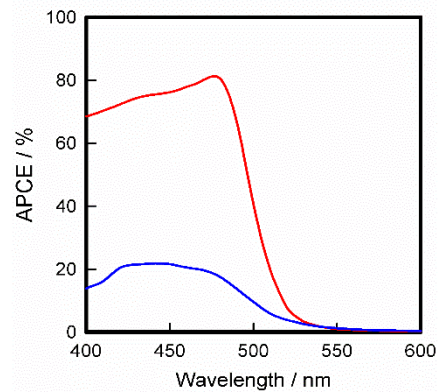


図5. SILAR-CdS/TiO₂膜(赤線)とPSM-CdS/TiO₂膜(青線)を用いた太陽電池のAPCEスペクトル。

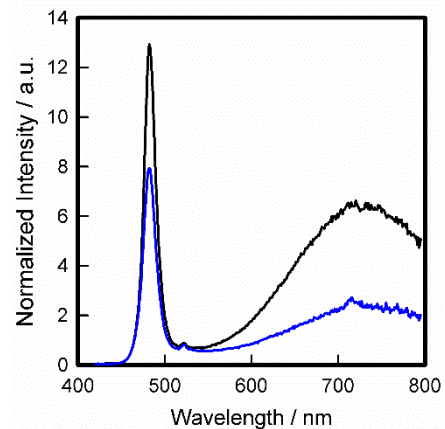


図6. PSM-CdS/TiO₂膜(青線)とPSM-CdS/Al₂O₃膜(黒線)の発光スペクトル。励起波長: 405 nm。

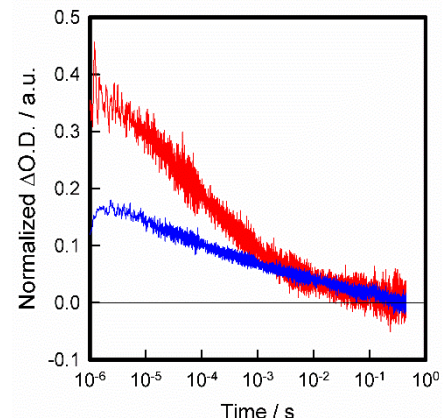


図7. SILAR-CdS/TiO₂膜(赤線)とPSM-CdS/TiO₂膜(青線)の過渡吸収減衰挙動。観測波長: 660 nm。

測された。一方、ミリ秒の領域では、2つの膜は同様の挙動が見られた。SILAR-CdS/TiO₂膜におけるこれらの速い再結合反応にもかかわらず、APCE値が80%程度を示していることから、CdSから電解質へのホール移動はより速く進行していることが分かる。このことから、太陽電池の光電流量は、CdSからの電子注入効率によって支配されていることが分かった。

これらの成果は、学術論文(*J. Photopolym. Sci. Technol.*, **29**(3) 357-362 (2016).)として発表した。

これに次ぐ成果として、上記の方法で合成したPbS量子ドットを架橋剤を用いて酸化チタンナノ粒子膜上に担持し、様々な過渡吸収スペクトル測定装置を用いて、電子注入・再結合過程を観測した。現在、成果を学術論文として投稿準備中である。

(3) 電解質への再結合抑制

量子ドット増感太陽電池の性能向上を目指すうえで、電解質の選択、レドックス種の割合は、重要な因子となりうる。特に、電荷再結合を抑制し、量子ドットから電解質へ、その後、対極へのホール移動を速やかに進行させるためには、より拡散係数が大きく、精密なレドックス種の割合を決定することが重要となる。本研究項目では、CdS量子ドット増感太陽電池の電解質として、フェリシアン化カリウム/フェロシアン化カリウムを選択し、短絡光電流・開放端電圧・フィルファクタの全てが向上する構成比を探り、性能を決定する因子を解明することを目的とする。

酸化チタンナノ粒子膜並びにCdS量子ドット増感膜は、上記のように、スクリーン印刷法並びにSILAR法によって、それぞれ作製した。量子ドット増感太陽電池は、量子ドット増感酸化チタン電極と白金対極で、厚さ25μmのポリエチレンスペーサーを挟み込み、その中に適した濃度比のフェリシアン化カリウム/フェロシアン化カリウム水溶液を注入することによって作製した。性能は、ソーラーシミュレータで疑似太陽光(one sun condition, 100 mW/cm² at 25 ± 2 °C)を照射し、電流・電圧曲線を測定した。過渡開放端電圧減衰曲線は、太陽電池に疑似太陽光を照射後、開放端電圧が一定になるのを確認した後、照射を終了すると同時に測定を開始した。

フェロシアン化カリウム、つまり電解質還元体の濃度を变化させたときの電流・電圧曲線の変化を観測した結果を図8に示す。濃度の低下とともに、明らかに短絡光電流・フィルファクタが低下することが分かった。このことから、還元体の濃度は、少なくとも0.2 Mの濃度が必要であることが分かった。次に、フェリシアン化カリウム、つまり電解質酸化体の濃度を变化させたときの過渡開放端電圧減衰挙動を測定した。その結果を図9に示す。濃度の増加とともに開放端電圧は低下し、電圧の減衰速度も増加することが分かった。一方、濃度が0.01 Mより低いと、フィルファクタが減少することが分かった。このことから、短絡光電流・開放端電圧・フィルファクタの全ての因子が最大になる組み合わせの濃度は、0.01 Mであることが分かった。

これらの実験結果をまとめてみると、電解質還元体の濃度は、0.2 Mであることが最適であり、電解質酸化体の濃度は、0.01 Mであることが最適であることが明らかになった。これらの最適濃度比を用いて、改めてCdS量子ドット増感太陽電池を作製し、その電流・電圧曲線を測定した。その結果を図10に示す。短絡光電流値: 3.8 mA/cm²、開放端電圧値: 0.8 V、フィルファクタ: 0.66 が得られ、光電変換効率: 2%を達成した。ちなみに、IPCE値は最高57%を記録した。特に、0.8 Vの開放端電圧値は、理論上の最大値に迫る値を記録した。これらの結果は、電池内の材料界面における全ての電荷移動反応プロセスが、電荷再結合反応よりも十分に速く進行する状況を作り出すことができれば、短絡光電流・開放端電圧・フィルファクタの全ての因子を最大化することが可能であることを示している。

これらの成果は、学術論文(*ACS Appl. Mater. Interfaces*, **8**(22) 13957-13965 (2016).)として発表した。

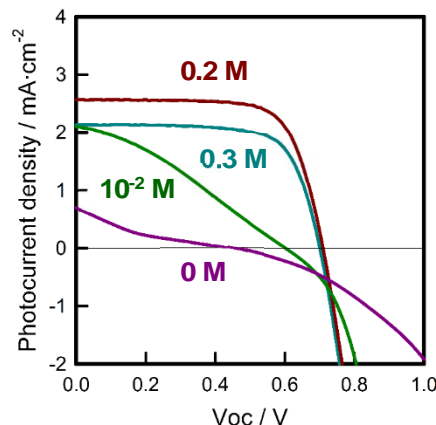


図 8. CdS 量子ドット増感太陽電池性能の電解質還元体濃度依存性。

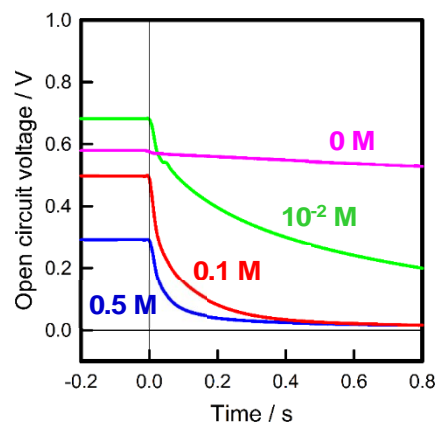


図 9. CdS 量子ドット増感太陽電池の過渡開放端電圧減衰の電解質酸化体濃度依存性。

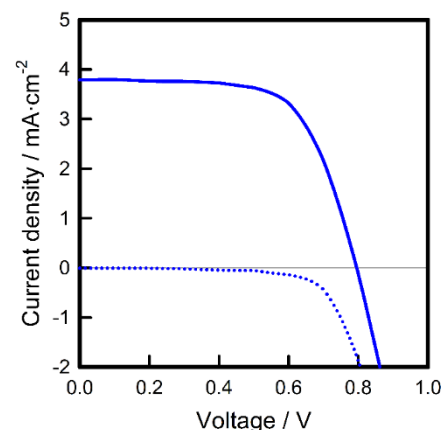


図 10. 最適な電解質濃度比 (0.01 M K₃Fe(CN)₆/0.2 M K₄Fe(CN)₆) を用いた CdS 量子ドット増感太陽電池の疑似太陽光照射化における電流・電圧曲線。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計8件（うち査読付論文 8件 / うち国際共著 8件 / うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 R. Evangelista, S. Makuta, S. Yonezu, J. Andrews, Y. Tachibana	4. 巻 8
2. 論文標題 Semiconductor Quantum Dot Sensitized Solar Cells Based on Ferricyanide/Ferrocyanide Redox Electrolyte Reaching an Open Circuit Photovoltage of 0.8 V	5. 発行年 2016年
3. 雑誌名 ACS Applied Materials & Interfaces	6. 最初と最後の頁 13957-13965
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1021/acsami.6b03633	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 S. Chan, M. Liu, K. Latham, M. Haruta, H. Kurata, T. Teranishi, Y. Tachibana	4. 巻 5
2. 論文標題 Monodisperse and Size-Tunable PbS Colloidal Quantum Dots via Heterogeneous Precursors	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Journal of Materials Chemistry C	6. 最初と最後の頁 2182 - 2187
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） DOI: 10.1039/C6TC05329G	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 Lee Ji-Won, Makuta Satoshi, Sukarasep Sonthirid, Bo Jiang, Suzuki Tsuneo, Nakayama Tadachika, Suematsu Hisayuki, Niihara Koichi, Tachibana Yasuhiro	4. 巻 29
2. 論文標題 Electron Injection from a CdS Quantum Dot to a TiO ₂ Conduction Band as an Efficiency Limiting Process: Comparison of QD Depositions between SILAR and Linker Assisted Attachment	5. 発行年 2016年
3. 雑誌名 Journal of Photopolymer Science and Technology	6. 最初と最後の頁 357 ~ 362
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.2494/photopolymer.29.357	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24件（うち招待講演 17件 / うち国際学会 24件）

1. 発表者名 Yasuhiro Tachibana
2. 発表標題 Semiconductor quantum dot solar cells developed by optimising interfacial charge transfer dynamics
3. 学会等名 MRS 2017 Fall Meeting（招待講演）（国際学会）
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Y. Tachibana
2. 発表標題 Development of semiconductor quantum dot sensitized solar cells by controlling interfacial charge transfer dynamics
3. 学会等名 The Emerging Energy Technologies Summit and Exhibition 2016 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 Y. Tachibana
2. 発表標題 Development of quantum dot sensitized solar cells by optimizing interfacial charge transfer dynamics
3. 学会等名 The International Union of Materials Research Societies-the International Conference on Electronic Materials (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 Y. Tachibana
2. 発表標題 Semiconductor quantum dots and their application to solar cells
3. 学会等名 The 33rd International Conference of Photopolymer Science and Technology (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 Y. Tachibana
2. 発表標題 Development of semiconductor quantum dots and their interfacial dynamics for solar energy conversion
3. 学会等名 229th Electrochemical Society (ECS) Meeting (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 S. Chan, M. Liu, K. Latham, T. Teranishi, Y. Tachibana
2. 発表標題 Monodisperse and Size-Tunable PbS Colloidal Quantum Dots via Heterogeneous Precursors
3. 学会等名 the 9th Asian Photochemistry Conference (国際学会)
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 S. Chan, M. Liu, R. Nakamura, Y. Tachibana
2. 発表標題 Development of Semiconductor Quantum Dot Sensitized Solar Cells by Controlling Interfacial Charge Transfer Dynamics
3. 学会等名 MRS 2016 Fall Meeting (国際学会)
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 Y. Tachibana
2. 発表標題 Design of nanomaterial based solar energy conversion devices by time-resolved laser spectroscopies
3. 学会等名 China-Japan-Singapore Joint Symposium on Supramolecular Systems and Optoelectronic Functions (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Y. Tachibana
2. 発表標題 Design of kinetically controlled solar energy conversion devices by time-resolved laser spectroscopies
3. 学会等名 the ENHANCE international symposium (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

〔図書〕 計1件

1. 著者名 橘 泰宏	4. 発行年 2016年
2. 出版社 株式会社シーエムシー出版	5. 総ページ数 9
3. 書名 太陽光と光電変換機能	

〔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
研究 分担者	中村 亮介 (Nakamura Ryosuke) (70379147)	大阪大学・共創機構産学共創本部・特任准教授 (14401)	