

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 29 年 6 月 19 日現在

機関番号：12612

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2014～2016

課題番号：26286013

研究課題名(和文) ナノヘテロ接合型量子ドット太陽電池の創成と多重励起子の電荷分離機構の解明

研究課題名(英文) Nano-interface engineering of heterojunction quantum dot solar cells and the effect on charge separation of multiple excitons

研究代表者

沈 青 (Shen, Qing)

電気通信大学・情報理工学(系)研究科・教授

研究者番号：50282926

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 12,900,000円

研究成果の概要(和文)：近年、コロイド半導体量子ドットを用いた太陽電池は安価かつ高効率な次世代太陽電池として期待されている。量子ドットの特徴を十分に利用できれば、太陽電池のエネルギー変換効率の著しい向上(理論限界44%)が予想されているが、コロイド量子ドット太陽電池のエネルギー変換効率は本研究を提案した当時(2013年)に8%以下であった。本研究では、この系の変換効率をさらなる向上させるために、ナノヘテロ接合界面状態の理解と制御、最適な電荷分離ナノ界面の形成、量子ドット中に多重励起子生成のダイナミクスと電荷分離メカニズムの解明について系統的に研究を推進してきた。

研究成果の概要(英文)：As one candidate of the next generation solar cells, colloidal quantum dot (CQD) based solar cells (CQDSCs) have attracted considerable interest and developed rapidly during the last few years. CQDSCs have some unique advantages such as the band-gap tunability, high absorption coefficient, multiple exciton generation (MEG) possibility and low cost for preparation. Although theoretical energy conversion efficiency of CQDSCs has been predicted to be about 44% much higher than the Shockley-Queisser limit (33%), it is still about 8% at present time (2014). Therefore, fundamental studies on the mechanism for improving energy conversion efficiency of CQDSCs are very important. In this project, we focus on clarifying the photoexcited carrier dynamics, especially the dynamics of MEG and improving the charge separation and suppress recombination in QD heterojunction solar cells by controlling the interfaces of CQDSCs as well as the approaches to improving the energy conversion efficiency.

研究分野：応用物理

キーワード：量子ドット 太陽電池 PbS PbSe 光励起キャリアダイナミクス 電荷移動 電荷分離 多重励起子

1. 研究開始当初の背景

半導体量子ドットを用いた太陽電池は安価かつ高効率な次世代太陽電池の候補の一つとして期待されている。量子ドットを太陽電池に応用する際に、(1)ドット径の制御により光吸収領域の制御が可能、(2)量子閉じ込め効果により光吸収係数が増大、(3)多重励起子生成 (MEG) により光電流変換量子効率が増大する可能性、などの特徴が見出されている。これらの特徴を十分に利用できれば、太陽電池のエネルギー変換効率の著しい向上 (理論限界 44%) が予言されている¹⁾。その中で、安価かつ簡便に作製できるコロイド半導体量子ドットを利用した太陽電池 (増感型、ヘテロ接合型) が注目されている。しかし、コロイド量子ドット太陽電池のエネルギー変換効率は 8% 以下であった。量子ドット太陽電池のエネルギー変換効率を向上させるために、各ナノ界面状態の十分な理解と制御、最適な電荷分離ナノ界面の形成と電荷再結合の抑制、量子ドット中に多重励起子生成のメカニズムの十分な理解と多重励起子を効率よく生成させる手法および外部に取り出す手法の確立などが重要かつ重要である。

2. 研究の目的

本研究は、安価・高効率な次世代太陽電池の一つであるヘテロナノ接合量子ドット太陽電池の創成と高効率化の指針を与えることを目的とする。研究の目標は、n型ナノ構造にp型量子ドットを吸着し、pnヘテロ接合量子ドット太陽電池の作製法の確立；の系に対して、光電変換効率向上の鍵となるpnナノ接合界面における励起子の電荷分離と電荷再結合ダイナミクスの解明；の結果とpnナノ界面の形成条件や光電流変換効率との関連を明らかにし、多重励起子を取り出せる最適な電荷分離界面の構築への指針の提案、の3つである。

3. 研究の方法

(1) 表面形態の異なった TiO₂ ナノ構造電極の作製法の確立
TiO₂ 光電極に吸着した半導体量子ドットにおける光励起キャリア緩和プロセスや MEG 発現条件および光電変換効率は TiO₂ 光電極の表面形態や半導体量子ドットの形状とサイズおよび結晶構造に依存することが予想される。本研究では、(a)緻密膜、(b) ナノワイヤー・ナノチューブの2種類 TiO₂ 基板を適用する。

(2) p型半導体量子ドットの作製、吸着、表面修飾の方法の確立
表面形態の異なったナノ構造 TiO₂ 基板に半導体量子ドット (PbS、PbSe) を作製し各種特性評価を行う。TiO₂ 光電極ならびに半導体量子ドットの表面修飾と熱処理および光エッチングにより各ナノ接合機能界面改質と

制御を行う。これらの結果は、電荷分離効率、MEG の発現と光電変換効率の向上に繋がると予想される。

(3) p型半導体/ナノ構造 TiO₂ 系における光励起キャリア緩和と界面での電荷分離ダイナミクスの解明

過渡回折格子 (TG) 法と過渡吸収 (TA) 法を用いて、半導体量子ドットにおける光励起キャリア・光励起の緩和機構の解明を行い、ナノ界面における多重励起子の電荷分離メカニズムを検討する。

(1)-(3)の結果に基づいて、半導体量子ドット吸着 TiO₂ 電極の上表面に Au 電極を蒸着し、ヘテロ接合量子ドット太陽電池を作製し、外部と内部光電流変換量子効率と光電変換特性を評価し、光電変換効率の向上への道筋を見つける。

4. 研究成果

(1) 異なるサイズの PbS 量子ドットの作製と各種物性評価を行った。また、ZnO 緻密膜や ZnO ナノロッド電極の作製を行い、構造評価と各種物性評価を行った。蛍光測定より、ZnO ナノロッドの表面欠陥が多いことが分かった。作製した PbS 量子ドットを各種 ZnO ナノ構造電極上に Spin Coating 法より塗布し、ヘテロ接合型量子ドット太陽電池デバイスを作製することができた。PbS 量子ドットのサイズと表面 Passivation 分子の種類、ZnO ナノ構造の Morphology と ZnO ナノロッドの長さは、PbS 量子ドット/ZnO ヘテロ接合型太陽電池 (図 1) の光電変換特性に大きく影響することが判明した。ZnO ナノロッドの表面に TiO₂ Coating することにより、ZnO ナノロッドの表面欠陥が著しく減少し、PbS 量子ドット/ZnO ナノロッド太陽電池の開放電圧が 0.1 V 以上増加したことを見出した。さらに、PbS サイズや ZnO ナノロッドの長さなどを調整することにより、最高エネルギー変換効率 6.5% を達成できた。さらに、安定性を評価した結果、130 日以上に、変換効率が安定したことを確認できた。²⁾

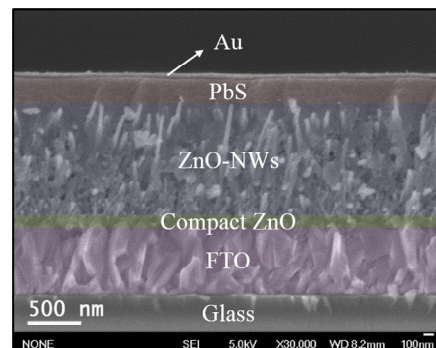


図 1 PbS 量子ドット/ZnO ヘテロ接合型太陽電池の断面 SEM 像²⁾

(2) PbS量子ドット表面は配位子と呼ばれる有機もしくは無機の物質で表面Passivationを行った。異なる長さの配位子を適用することにより、量子ドット間の距離を変化させた。これらの試料に対し、透過型電子顕微鏡(TEM)像による距離の計測と、TA法による電荷分離速度の評価を行った。また、実際にPbS量子ドット太陽電池を作製し、その光電変換特性を評価した。その結果、量子ドット間距離が短くなると共に、電荷移動が早くなることが見られた。また、生成した光電流も量子ドット間距離に強く影響されることが分かった。³⁾

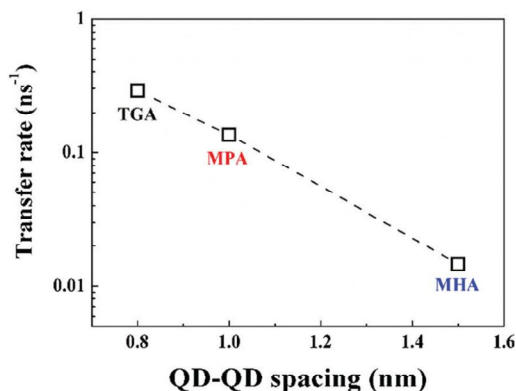


図2 PbS 量子ドット間での電荷移動速度定数の量子ドット間距離の依存性³⁾

(3) 時間分解レーザー分光法(TG法とTA法)を用いて、PbS量子ドットにおける多重励起子生成(MEG)のダイナミクスを測定した。理論的なモデルを提案し、PbS量子ドットにおけるホットキャリア緩和ダイナミクスと最低励起状態でのキャリア生成ダイナミクスを分離することができた。その結果、MEG発現できない条件(励起光のエネルギーバンドギャップ E_g の2.7倍以下)では、ホットキャリアの緩和時間は最低励起状態でのキャリア生成時間は同じであり、400 fsである。しかし、MEG発現できる条件(励起光のエネルギーはバンドギャップ E_g の2.7倍以上)では、ホットキャリアの緩和時間は200 fsと短くなり、一方最低励起状態でのキャリア生成時間は600 fsと長くなることが分かった。⁴⁾

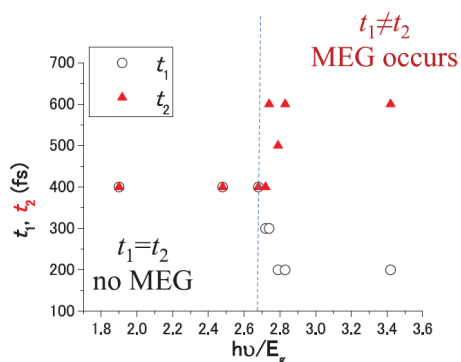


図3 励起光のエネルギー ($h\nu$) とバンドギャップ E_g の比による PbS 量子ドットにおけるホットキャリア緩和時間 t_1 と最低励起状態でのキャリア生成時間 t_2 の変化⁴⁾

以上の結果より、多重励起子生成はホットキャリア緩和以外に、キャリア-キャリア相互作用やキャリア-フォノン相互作用などの物理的なプロセスを含めおこる現象であることが示唆される。また、多重励起子の生成は数 100 fs で起こることが判明した。⁴⁾

(4) ZrO_2 と TiO_2 薄膜に単層と多層の PbS 量子ドットを吸着し、光励起キャリアダイナミクスを評価した。 ZrO_2 上での量子ドット膜と TiO_2 上での多層量子ドット膜は多重励起子生成(MEG)が発現されたが、 TiO_2 上での単層量子ドット膜の MEG が確認できなかった。単層 PbS 量子ドットは TiO_2 に直接に接触したため、hot electron 注入が起こり、MEG が発現できなかったと考えられる。MEG 効果を太陽電池に応用するためには、PbS 量子ドットの多層膜の適用が必要であることを見つけた。

(5) PbS 量子ドット表面を無機分子(Cl, Br, I)により passivation し、成膜した。Br, I で passivation した試料において顕著な発光を示すトラップ準位が確認された。Br で passivation した量子ドット太陽電池は、短絡電流密度と光電変換効率が最も高い値を示し、トラップ準位は電子移動の妨げに大きな影響がないことが示唆された。また、Br で passivation した試料では、電荷分離は一番速いことが観察された。Br で passivation した量子ドット薄膜は、励起されたキャリアは最も円滑に電荷分離・輸送していると考えられる。

(6) PbSe 量子ドット太陽電池の界面修飾と界面電荷分離・再結合ダイナミクスについて研究を行った。まず、新しい方法を提案し安定な PbSe 量子ドット溶液の作製に成功した。次に、異なる 4 種類のリガンド分子を PbSe 量子ドットの表面パッシベーションに適用し、PbSe 量子ドット薄膜を形成した。これらのリガンドの違いによる PbSe 量子ドット膜の空気中での安定性の変化、PbSe 量子ドット膜のエネルギー準位の変化、PbSe 量子ドット太陽電池の光電変換特性の変化について詳しく調べた。さらに、過渡吸収分光法により量子ドット界面での電荷移動速度定数のリガンド長さ依存性(図4)とそのメカニズムを検討した。また開放電圧の過渡応答測定により PbSe 量子ドットにおける光励起キャリアの寿命と再結合過程のリガンド分子依存性を明らかにした。また、適切なリガンドで量子ドットの表面をパッシベーションすれば、量子ドット太陽電池は空気中で3か月以上安定であることが確認できた(図5)。これらの結果により、適切な量子ドット界面修飾方法を確立できれば、空気中で安定でありさらなる高効率化である PbSe 量子ドット太陽電池の構築ができることが判明した。⁵⁾

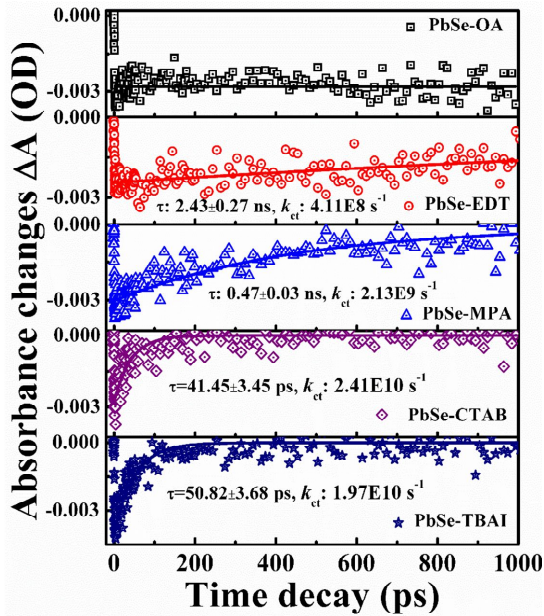


図4 量子ドット間のリガンド種類の違いによる界面での電荷移動ダイナミクスと速度定数の変化⁵⁾

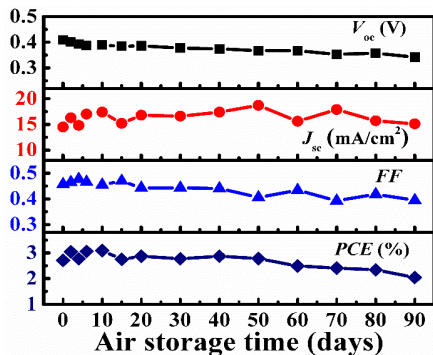


図5 PbSe 量子ドットの光電変換特性の安定性 (室温、空気中で保存)⁵⁾

(7) PbS 量子ドットヘテロ接合型太陽電池に、PbS 量子ドット層と Au 電極との界面に BTPA-4 という新しい有機小分子層をホール選択層として導入することをはじめて提案した。これにより、PbS 量子ドット太陽電池の開放電圧の向上に成功した(図6)。開放電圧の時間応答と交流インピーダンスの測定結果より、BTPA-4 ホール選択層の導入により、この界面での再結合を著しく抑制できたため、PbS 量子ドット太陽電池における光励起キャリアの寿命が長くなり、開放電圧が向上できたことが明らかになった。さらに、この有機小分子 BTPA-4 を導入した PbS 量子ドット太陽電池は空気中で 100 日以上保存しても安定であることを実証した。この結果より、提案した BTPA-4 ホール選択層は従来の有機ホール選択層 (Spiro-OmeTAD) より安定であり、量子ドット太陽電池に応用できることが判明した。⁶⁾

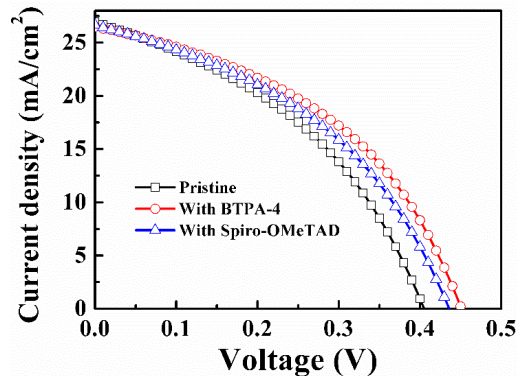


図6 ホール選択なし(黒)とホール選択層あり(赤: BTPA-4 ホール選択層; 青: 従来のホール選択層)の場合の PbS 量子ドット太陽電池の光電変換特性⁶⁾

<引用文献>

A. J. Nozik, *Physica E* **14**, 115 (2002).

Jin Chang, Yuki Kuga, Iván Mora-Seró, Taro Toyoda, Yuhei Ogomi, Shuzi Hayase, Juan Bisquert, and Qing Shen*: High Reduction of Interfacial Charge Recombination in Colloidal Quantum Dot Solar Cells by Metal Oxide Surface Passivation, *Nanoscale*, 2015, 7, 5446-5456.

Jin Chang, Yuhei Ogomi, Chao Ding, Yao Hong Zhang, Taro Toyoda, Shuzi Hayase, Kenji Katayama and Qing Shen*: Ligand-dependent exciton dynamics and photovoltaic properties of PbS quantum dot heterojunction solar cells, *Phys. Chem. Chem. Phys.* 2017, Vol. 19, pp. 6358-6367. DOI: 10.1039/C6CP06561A

Qing Shen, Kenji Katayama, Taro Toyoda: Characterization of hot carrier cooling and multiple exciton generation dynamics in PbS QDs using an improved transient grating technique, *J. Energy Chem.*, Vol. 24, pp. 712-714 (2015)

Yaohong Zhang, Chao Ding, Guohua Wu, Naoki Nakazawa, Jin Chang, Yuhei Ogomi, Taro Toyoda, Shuzi Hayase, Kenji Katayama, and Qing Shen*: Air Stable PbSe Colloidal Quantum Dot Heterojunction Solar Cells: Ligand-Dependent Exciton Dissociation, Recombination, Photovoltaic Property, and Stability, *J. Phys. Chem. C*, 2016, 120 (50), pp 28509-28518.

Yaohong Zhang, Guohua Wu, Iván Mora-Seró, Chao Ding, Feng Liu, Qingxun Huang, Yuhei Ogomi, Shuzi Hayase, Taro Toyoda, Ruixiang Wang, Joe Otsuki and Qing Shen*: "Improvement of photovoltaic performance of colloidal quantum dot solar cells using organic small molecule as hole-selective layer", *The Journal of Physical Chemistry Letter*, vol. 8, pp. 2163-2169, 2017.

5 . 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文](計 23 件、査読あり)

Yaohong Zhang, Guohua Wu, Iván Mora-Seró, Chao Ding, Feng Liu, Qingxun Huang, Yuhei Ogomi, Shuzi Hayase, Taro Toyoda, Ruixiang Wang, Joe Otsuki and Qing Shen*: “Improvement of photovoltaic performance of colloidal quantum dot solar cells using organic small molecule as hole-selective layer”, *The Journal of Physical Chemistry Letter*, vol. 8, pp. 2163-2169, **2017**. DOI: 10.1021/acs.jpcclett.7b0068.

Wenxiang Peng, Jun Du, Zhenxiao Pan, Naoki Nakazawa, Jiankun Sun, Zhonglin Du, Gencai Shen, Juan Yu, Jin-Song Hu*, Qing Shen*, and Xinhua Zhong: Alloying Strategy in CuInGaSe Quantum Dots for High Efficiency Quantum Dot Sensitized Solar Cells, *ACS Appl. Mater. Interfaces*, 2017, 9 (6), pp 5328–5336, DOI: 10.1021/acsami.6b14649

Motoki Hironaka, Taro Toyoda, Kanae Hori, Yuhei Ogomi, Shuzi Hayase, Qing Shen*: Photovoltaic Properties of CdSe Quantum Dot Sensitized Inverse Opal TiO₂ Solar Cells: The Effect of TiCl₄ Post Treatment, *Journal of Modern Physics*, 2017, Vol. 8, pp. 522-530. <https://doi.org/10.4236/jmp.2017.84034>

Jin Chang, Yuhei Ogomi, Chao Ding, Yao Hong Zhang, Taro Toyoda, Shuzi Hayase, Kenji Katayama and Qing Shen*: Ligand-dependent exciton dynamics and photovoltaic properties of PbS quantum dot heterojunction solar cells, *Phys. Chem. Chem. Phys.* 2017, Vol. 19, pp. 6358-6367. DOI: 10.1039/C6CP06561A

Yaohong Zhang, Chao Ding, Guohua Wu, Naoki Nakazawa, Jin Chang, Yuhei Ogomi, Taro Toyoda, Shuzi Hayase, Kenji Katayama, and Qing Shen*: Air Stable PbSe Colloidal Quantum Dot Heterojunction Solar Cells: Ligand-Dependent Exciton Dissociation, Recombination, Photovoltaic Property, and Stability, *J. Phys. Chem. C*, **2016**, 120 (50), pp 28509-28518. DOI: 10.1021/acs.jpcc.6b10920

Tomah Sogabe, Qing Shen, Koichi Yamaguchi: Recent progress on quantum dot solar cells: a review, *J. Photon. Energy*. 6(4), 040901 (Oct 06, 2016). doi:10.1117/1.JPE.6.040901

Koki Sato, Keita Ono, Takuya Izuishi, Shota Kuwahara, Kenji Katayama, Taro Toyoda, Shuzi Hayase and Qing Shen*: The effect of CdS on the charge separation and recombination dynamics in PbS/CdS double-layered quantum dot sensitized solar cells, *chemical physics*, Vol. 478, pp. 159-163 (2016). <http://dx.doi.org/10.1016/>

j.chemphys.2016.03.014

Shuang Jiao, Jin Wang, Qing Shen, Yan Li and Xinhua Zhong: Surface engineering of PbS quantum dot sensitized solar cells with a conversion efficiency exceeding 7%, *J. Mater. Chem. A*, 2016, in press, DOI: 10.1039/C6TA02465C.

Jin Wang, Yan Li, Qing Shen, Takuya Izuishi, Zhenxiao Pan, Ke Zhao and Xinhua Zhong: Mn doped quantum dots sensitized solar cells with power conversion efficiency exceeding 9%, *J. Mater. Chem. A*, 2016, Vol. 4, pp.877-886 (2016) DOI: 10.1039/C5TA09306F

Jun Du, Zhonglin Du, Jin-Song Hu, Zhenxiao Pan, Qing Shen, Jiankun Sun, Donghui Long, Hui Dong, Litao Sun, Xinhua Zhong, and Li-Jun Wan: Zn-Cu-In-Se Quantum Dot Solar Cells with a Certified Power Conversion Efficiency of 11.6%, *J. Am. Chem. Soc.*, Vol. 138, pp. 4201-4209 (2016). DOI: 10.1021/jacs.6b00615

Junwei Yang, Jin Wang, Ke Zhao, Takuya Izuishi, Yan Li, Qing Shen*, and Xinhua Zhong*, CdSeTe/CdS Type-I Core/Shell Quantum Dot Sensitized Solar Cells with Efficiency over 9%, *J. Phys. Chem. C*, Vol. 119, pp. 28800-28808 (2015) DOI: 10.1021/acs.jpcc.5b10546.

Qing Shen, Kenji Katayama, Taro Toyoda: Characterization of hot carrier cooling and multiple exciton generation dynamics in PbS QDs using an improved transient grating technique, *J. Energy Chem.*, Vol. 24, pp. 712-714 (2015) DOI:10.1016/j.jechem.2015.11.002

Masaya Akimoto, Taro Toyoda, Tsuyoshi Okuno, Shuzi Hayase, Qing Shen*: Effect of defects in TiO₂ nanotube thin film on the photovoltaic properties of quantum dot-sensitized solar cells, *Thin Solid Films*, 2015, **590**, 90-97, DOI:10.1016/j.tsf.2015.07.038

Jin Chang, Takuya Oshima, Sojiro Hachiya, Kouki Sato, Taro Toyoda, Kenji Katayama, Shuzi Hayase, Qing Shen*: Uncovering the charge transfer and recombination mechanism in ZnS-coated PbS quantum dot sensitized solar cells, *Solar Energy*, 2015, 122, 307-313, DOI:10.1016/j.solener.2015.08.035

Taro Toyoda*, Witoon Yindeesuk, Tsuyoshi Okuno, Masaya Akimoto, Keita Kamiyama, Shuzi Hayase and Qing Shen*: Electronic structures of two types of TiO₂ electrodes: inverse opal and nanoparticulate cases, *RSC Adv.*, 2015,**5**, 49623-49632, DOI: 10.1039/C5RA07092A

Jin Chang, Yuki Kuga, Iván Mora-Seró, Taro Toyoda, Yuhei Ogomi, Shuzi Hayase, Juan Bisquert, and Qing Shen*: High Reduction of Interfacial Charge Recombination in Colloidal Quantum Dot Solar Cells by Metal Oxide Surface Passivation, *Nanoscale*, 2015,**7**, 5446-5456, DOI: 10.1039/C4NR07521H

Shuang Jiao, Qing Shen, Iván Mora-Seró,

Jin Wang, Zhenxiao Pan, Ke Zhao, Yuki Kuga, Xinhua Zhong, and Juan Bisquert: Band Engineering in Core/Shell ZnTe/CdSe for Photovoltage and Efficiency Enhancement in Exciplex Quantum Dot Sensitized Solar Cells, *ACS Nano*, *ACS Nano*, 9, 908–915 (2015). DOI: 0.1021/nn506638n.

Junwei Yang, Takuya Oshima, Witoon Yindeesuk, Zhenxiao Pan, Xinhua Zhong* and **Qing Shen***: Influence of Linker Molecules on Interfacial Electron Transfer and Photovoltaic Performance of Quantum Dot Sensitized Solar Cells, *J. Mater. Chem. A*, 2014, 2, 20882–20888, DOI: 10.1039/C4TA04353G

Zhenxiao Pan, Iván Mora-Seró, **Qing Shen**, Hua Zhang, Yan Li, Ke Zhao, Jin Wang, Xinhua Zhong *†, and Juan Bisquert, High-Efficiency “Green” Quantum Dot Solar Cells, *J. Am. Chem. Soc.*, 2014, 136 (25), pp 9203–9210, DOI: 10.1021/ja504310w

Masaya Akimoto, **Qing Shen**, Shuji Hayase and Taro Toyoda, Photoacoustic spectroscopy of TiO₂ nanotube electrode adsorbed with CdSe quantum dots and its photovoltaic properties, *Jpn. J. Appl. Phys.* 53 07KB08 (2014).

② Stephen V. Kershaw,* Sergii Kalytchuk, Olga Zhovtiuk, **Qing Shen**, Takuya Oshima, Witoon Yindeesuk, Taro Toyoda and Andrey L. Rogach, Multiple exciton generation in cluster-free alloy Cd_xHg_{1-x}Te colloidal quantum dots synthesized in water, *Phys. Chem. Chem. Phys.*, Vol. 16, 25710(2014), DOI: 10.1039/C4CP01465K.

② N. Osada, T. Oshima, S. Kuwahara, T. Toyoda, **Q. Shen*** and K. Katayama*: Photoexcited carrier dynamics of double-layered CdS/CdSe quantum dot sensitized solar cells measured by heterodyne transient grating and transient absorption methods, *Phys. Chem. Chem. Phys.*, Vol. 16, 5774 (2014). DOI: 10.1039/c3cp55177

② Feng Liu, Jun Zhu*, Junfeng Wei, Yi Li, Linhua Hu, Yang Huang, Oshima Takuya, **Qing Shen***, Taro Toyoda, Bing Zhang, Jianxi Yao, and Songyuan Dai*: Ex Situ CdSe Quantum Dot-Sensitized Solar Cells Employing Inorganic Ligand Exchange To Boost Efficiency, *J. Phys. Chem. C*, Vol. 118, 214–222 (2014). DOI: 10.1021/jp410599q.

〔学会発表〕(計 6 件)

沈青、豊田太郎: 「量子ドット太陽電池の電荷分離界面の構築と高効率化への道筋」、日本化学会第97春季年会、慶応大学(神奈川県横浜市日吉) 2017年3月18日 3D1-33 (**ATP 依頼講演**)

沈青、豊田太郎: 「量子ドット太陽電池のナノ界面制御と高効率化」、第77回応用物理学会秋季学術講演会、有機分子・バイオエ

レクトロニクス 分科内招待講演 13p-B4-1、2016年9月13 朱鷺メッセ(新潟県新潟市)(**招待講演**)

沈青: 「高速レーザー分光法による太陽電池での光励起キャリアダイナミクスの解明 - 量子ドット太陽電池とペロブスカイト太陽電池について -」、第77回応用物理学会秋季学術講演会、分科会シンポジウム: フォトニクスの未来を担う研究者、招14p-A41-8、2016年9月14 朱鷺メッセ(新潟県新潟市)(**招待講演**)

沈青、豊田太郎: 量子ドット太陽電池のナノ界面制御と高効率化、日本化学会第96春季年会、同志社大学(京都府京田辺市) 2016年3月25日 2J4-28 (**ATP 依頼講演**)

Qing Shen, Taro Toyoda, and Shuji Hayase: Perovskite and Quantum Dot Solar Cells: Photoexcited Carrier Dynamics, Interface Engineering and Mechanism for Improving Photovoltaic Performance, 12th China SoG Silicon and PV Power Conference, Jiaying (China), Nov. 24-26, 2016 (invited talk).

Qing Shen, Taro Toyoda, Shuji Hayase: Quantum Dot and Perovskite Solar Cells: Interface Engineering, Photoexcited Carrier Dynamics and Mechanism for Improving Photovoltaic Performance, Japanese Swiss Energy Materials Workshop, Zurich(Swiss), March 7-9, 2016 (Invited talk).

〔図書〕(計 1 件)

沈青、太陽光と光電変換機能: 第3章 「新規素子開発」、3 半導体量子ドットの多重励起子生成と太陽電池への応用、pp. 184-190、早瀬修二編(シーエムシー出版社、2016年1月28日)

〔その他〕

ホームページ等

<http://kjk.office.uec.ac.jp/Profiles/5/0000468/profile.html>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

沈青 (SHEN, Qing)

電気通信大学・大学院情報理工学研究科・教授

研究者番号: 50282926

(2) 研究分担者

豊田太郎 (TOYODA, Taro)

電気通信大学・大学院情報理工学研究科・名誉教授

研究者番号: 40217576

(3) 連携研究者

早瀬修二 (HAYASE, Shuzi)

九州工業大学・生命体工学研究科教授

研究者番号: 80336099