量子ドットの低欠陥化と光励起キャリアダイナミクスおよび光電変換デバイスへの応用

Less-Defect Colloidal Quantum Dots and the Photoexcited Carrier Dynamics as well as Application in Optoelectronic Devices

沈青

電気通信大学大学院情報理工学研究科 〒182-8585 東京都調布市調布ヶ丘1-5-1 E-mail: shen@pc.uec.ac.jp

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。(3)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。この系のエネルギー変換効率はごく最近数年間で著しく向上され、増 感型とヘテロ接合型量子ドット太陽電池の公認エネルギー変換効率がそれぞれ 11%と 16%以上に達成できた^{2,3)}。 しかし、まだ理論変換効率よりはるかに低いである。量子ドット太陽電池のエネルギー変換効率の更なる向上を 実現するために、①コロイド量子ドットの低欠陥化、②各ナノ界面状態の十分な理解と制御、③最適な電荷分離 ナノ界面の構築と電荷再結合の抑制、④量子ドットにおける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必要かつ重要である⁴⁾。そこで、私たち は量子ドット太陽電池のエネルギー変換効率向上のメカニズムの解明と高効率化の指針を得るために、上記の課 題を中心に系統的に研究を推進している。まず、独自な量子ドット合成手法を開発し、発光量子収率がほぼ100% である低欠陥の量子ドットの作製に成功した(図1)5)。次に、単独の量子ドットと量子ドット膜における多重励 起子の生成と消滅および量子ドット間における電荷移動などを解明している。6-8)さらに、量子ドット太陽電池の 各界面(図2)の制御、各界面での電荷分離機構の解明、界面パッシベーションによる光電変換特性の向上とそ のメカニズムついて検討している。今回は、これらの研究内容について報告する^{9,10)}。

謝辞:電気通信大学豊田太郎名誉教授、九州工業大学早瀬修二教授、宮崎大学吉野賢二教授、立命館大学峯元 高志教授、中国華東理工大学 Zhong Xinhua 教授、中央大学片山建二教授、JST澤田嗣郎博士等の共同研究者 の方々に感謝を申し上げます。本研究で紹介した内容の一部はJST戦略的創造研究推進事業「さきがけ」と「CREST」 および科学研究費基盤(B)のご支援により行われたものである。







図 2 ヘテロ接合型の量子ドット太陽 電池における3種類接合界面の模式図

M. Hanna and A. Nozik, *J. Appl. Phys.* 2006, 100, 074510. 2) http://www.nrel.gov/ncpv/images/efficiency_chart.jpg.
J. Du et al., *J. Am. Chem. Soc.* 2016, 138, 4201. 4)T. Sogabe, Q. Shen, K. Yamaguchi, *J. Photon. Energy.* 2016, 6, 040901.
F. Liu, Q. Shen et. al., *ACS Nano*, 2017, 11, 10373. 6) Q. Shen, K. Katayama, T. Toyoda, *J. Energy Chem.* 2015, 24, 712.
J. Chang, Q. Shen et. al., *Nanoscale* 2015,7, 5446. 8) N. Nakazawa, Q. Shen et. al., *Nanoscale Horiz.*, 2018.
C. Ding, Q. Shen et al., *ACS Appl. Mater. Interfaces*, 2017, DOI: 10.1021/acsami.7b06552
C. Ding, Q. Shen et al., *Nanoscale Horiz.*, 2018, 3, 417.

11) Y. Zhang, Q. Shen et. al., J. Phys. Chem. Lett., 2018, 9, 3598-3603.